



FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEE – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

AGENTES INTELIGENTES PARA COORDENAÇÃO DO CONTROLO DESCENTRALIZADO EM SISTEMAS DE CANAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Por
CELSO AFONSO CRAVID

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores.

Orientador: Professor Doutor RUI NEVES SILVA

CAPARICA
2010

AGRADECIMENTOS

Esta é uma daquelas tarefas complicadas e ingratas. Ingrata porque a vida académica é apenas uma das etapas importantes na vida de um indivíduo, e ao longo da vida são muitas as pessoas com quem cruzamos e que nos acrescentam e ensinam algo - há sempre o risco de as deixar de fora, o que é injusto, pois de alguma forma contribuíram para o que somos e vamos conseguindo a cada etapa. O meu muito obrigado a todos os que couberem nesse grupo – amigos, colegas, professores, etc!

Ao orientador desta dissertação, o Professor Doutor Rui Neves Silva, agradeço a oportunidade concedida para a sua realização, e toda a disponibilidade manifestada na supervisão dos trabalhos. O agradecimento é extensivo aos restantes membros do grupo de investigação *i-control* que, juntamente com o orientador, contribuíram com as suas críticas e sugestões durante as sessões de apresentação e discussão de ideias no formato de seminário dentro grupo - são eles: Maria Marques, Ana Rita Campos – ambas doutorandas à data de realização dos trabalhos desta dissertação, João Virote e Ricardo Salvador.

E porque os últimos são os primeiros, um especial agradecimento à minha fantástica família, e à Linete - Muito obrigado pelo vosso apoio!

À Paz e Concórdia entre os Povos

AGENTES INTELIGENTES PARA COORDENAÇÃO DO CONTROLO DESCENTRALIZADO EM SISTEMAS DE CANAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

SUMÁRIO

O controlo descentralizado em sistemas distribuídos consiste, muitas vezes, em controladores locais que cumprem objectivos também locais. Nesses casos, sem a necessária e satisfatória coordenação, os objectivos de controlo podem ser comprometidos – assim, a coordenação entre as diversas entidades torna-se essencial, sobretudo quando o sistema é marcado por fenómenos de interdependência entre os seus subsistemas e interesses locais divergentes.

Neste trabalho, pretende-se analisar e desenvolver uma solução para o problema da coordenação do controlo descentralizado exercido por diversos controladores locais em sistemas distribuídos, concretamente, num sistema de canais de distribuição de água por acção da gravidade. O estudo faz uso do conceito de agentes inteligentes, explorando as suas potencialidades enquanto tecnologia.

As metodologias propostas resultam numa abordagem macroscópica ao problema, significando que são independentes do nível de detalhe do controlador. É apresentada uma arquitectura de coordenação do controlo, com especial realce para o nível de abstracção onde os agentes inteligentes orquestram todo o processo de coordenação com base na negociação automática. As metodologias são testadas com base em simulação, e resultados experimentais permitem analisar o seu realismo e aplicabilidade prática.

Palavras-Chave:

Coordenação do Controlo Descentralizado, Agentes Inteligentes, Negociação, Sistemas Distribuídos, Inteligência Artificial, Canais abertos de distribuição de água.

INTELLIGENT AGENTS FOR DECENTRALIZED CONTROL COORDINATION IN CANAL SYSTEMS OF WATER DISTRIBUTION

ABSTRACT

In distributed systems, decentralized control is, usually, based on local controllers that accomplish local objectives. In these cases, without necessary and satisfactory coordination the control objectives cannot be achieved - thus, the coordination between all entities involved becomes an essential issue, mainly when the system presents interdependency phenomena between their subsystems and the local interests are conflicting or divergent.

In this work, the author intends to analyze and develop a solution for the problem of coordination in decentralized control played by local controllers in distributed systems such as canal systems of water distribution by gravity. The study uses the concept of intelligent agents, exploiting their potentialities as technology to address the problem.

The proposed methodologies result from a macroscopic approach, what means that they are independent of the detail level of each controller specification. An architecture for the control coordination is presented, with a special focus on the abstraction level where the intelligent agents deal with the process of coordination based on automatic negotiation. The methodologies are tested by simulation and experimental results allow analyzing their realism and practical applicability.

Keywords:

Decentralized Control Coordination, Intelligent Agents, Negotiation, Distributed Systems, Artificial Intelligence, Open canals of water distribution.

A, Ag – Agente

AI – Agente Inteligente

BD – Base de Dados

Downstream – Zona situada mais a jusante num canal

IA – Inteligência Artificial

IAD – Inteligência Artificial Distribuída

ID – Integrator Delay

IDZ – Integrator Delay Zero

MIMO – Multiple Inputs - Multiple Outputs system

POO – Programação Orientada a Objectos

SISO – Single Input - Single Output system

SMA – Sistema Multi-Agente

Upstream – Zona situada mais a montante num canal

Valor de Reserva – Valor mínimo ou máximo de um intervalo do espaço comercial,
conforme o caso se trate de um servidor ou um cliente

INTRODUÇÃO	13
1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	17
1.1 CANAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POR ACÇÃO DA GRAVIDADE.....	17
1.1.1 Descrição e Modelação do Canal	18
1.1.2 Estratégias e Políticas de Controlo.....	22
1.2 O PROBLEMA DA COORDENAÇÃO DO CONTROLO.....	27
1.3 SÍNTESE	31
2. AGENTES INTELIGENTES E NEGOCIAÇÃO	33
2.1 CONCEITO DE AGENTE	33
2.1.1 Agentes Inteligentes.....	34
2.2 SISTEMAS MULTI-AGENTE SMA E APLICAÇÕES.....	37
2.2.1 O Caso dos Canais de Irrigação: Porquê Agentes?.....	38
2.2.2 Mecanismos de Comunicação e Conceitos Relevantes	39
2.3 NEGOCIAÇÃO	40
2.3.1 Negociação como Mecanismo de Suporte à Decisão.....	41
2.3.2 Características do Processo Negocial	41
2.3.3 A Proposta Modelo de Farantin – Aspectos Essenciais.....	47
2.4 SÍNTESE	51
3. METODOLOGIAS PARA A COORDENAÇÃO DO CONTROLO	53
3.1 UMA ABORDAGEM MACROSCÓPICA BASEADA EM AGENTES INTELIGENTES	53
3.2 MODELO DE NEGOCIAÇÃO BILATERAL ORIENTADO A SERVIÇOS	59
3.2.1 O Protocolo de Interação e Negociação entre Agentes	59
3.2.2 Métricas para Avaliação de Propostas	61
3.2.3 Significado e Impacto do Acordo para o Agente	63
3.3 EMERGÊNCIA DA COORDENAÇÃO GLOBAL NO CANAL	66
3.4 SÍNTESE	68

4. AVALIAÇÃO E ANÁLISE DAS METODOLOGIAS	71
4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE OPÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO DOS AGENTES	71
4.1.1 Características da Comunicação	72
4.1.2 Principais Actividades do Agente.....	74
4.1.3 Visão Global e Funcional dos Principais Processos e Entidades	74
4.1.4 Considerações Finais.....	76
4.2 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	76
4.2.1 Cenário, Hipóteses e Configurações do Modelo Negocial	76
4.2.2 Simulação: configuração e parametrização de testes	79
4.2.3 Simulação: resultados experimentais	82
4.3 SÍNTESE E DISCUSSÃO	86
4.3.1 Síntese e Considerações Gerais	87
5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	89
5.1 CONCLUSÕES PRINCIPAIS	89
5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	90
BIBLIOGRAFIA	91
ANEXO A.....	95
A.1 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CONJUNTO DE TESTES A	97
A.2 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CONJUNTO DE TESTES B	100
A.4 – JANELAS PRINCIPAL DA APLICAÇÃO	103
ANEXO B. CD – ROM.....	105

Figura 1.1- Vista longitudinal de um canal.....	18
Figura 1.2- Vista transversal: diferentes tipologias de secções de um canal.....	18
Figura 1.3 – Esquema da estratégia de controlo longínquo (<i>downstream</i>).....	24
Figura 1.4 – Esquema da estratégia de controlo a montante (<i>upstream</i>).....	24
Figura 1.5 - Esquema da estratégia de controlo misto (<i>mixed control</i>).....	25
Figura 1.6 - Controlador master-slave.....	27
Figura 1.7 - Esquema de controlo: série de controladores locais aplicados ao canal..	30
Figura 2.1- Agente inteligente (características e capacidades).....	35
Figura 2.2 - Esquematização do processo negocial entre dois actores (A_1 e A_2).....	41
Figura 2.3 - Tipos de negociação quanto ao número de participantes.....	46
Figura 3.1- Troço de canal com agentes incorporados no esquema de controlo.....	54
Figura 3.2 - Modelo conceptual da arquitectura de coordenação do controlo.....	55
Figura 3.3 - Diagrama de blocos da arquitectura de controlo proposta.....	55
Figura 3.4 - Detalhe da arquitectura de coordenação do controlo.....	56
Figura 3.5 - Protocolo de negociação e interacção entre agentes.....	59
Figura 3.6 - Característica de funções de avaliação de propostas.....	61
Figura 3.7- Esquematização do cálculo da utilidade global	62
Figura 3.8 - Cenário negocial 1: ilustração do acordo	64
Figura 3.9 - Cenário negocial 2: ilustração do acordo	64
Figura 3.10 - Agenda de compromissos dos agentes ao longo tempo.....	67
Figura 3.11 - Rede de canais e interacção sugerida entre os agentes.....	68
Figura 4.1 – Processos e sua organização para efeitos de simulação.	75
Figura 4.2 – Evolução comparativa do processo negocial para os testes A (A_1 vs A_2 vs A_3).....	83
Figura 4.3 – Ilustração da coordenação global.....	85
Figura A.1 - Resultados do processo negocial: Evolução da barganha e Utilidade global para cliente e servidor (teste A_1).....	97

Figura A.2 - Resultados do processo negocial: Evolução da barganha e Utilidade global para cliente e servidor (teste A2).....	98
Figura A.3 - Resultados do processo negocial: Evolução da barganha e Utilidade global para cliente e servidor (teste A3).....	99
Figura A.4 - Resultados do processo negocial: Evolução da barganha e Utilidade global para cliente e servidor (teste B1).....	100
Figura A.5 - Resultados do processo negocial: Evolução da barganha e Utilidade global para cliente e servidor (teste B2).....	101
Figura A.6 - Resultados do processo negocial: Evolução da barganha e Utilidade global para cliente e servidor (teste B3).....	102

Quadro 2.1- Resumo de características principais de arquitecturas de agentes.....	36
Quadro 4.1 - Ambientes de implementação de agentes: opções e características...	71
Quadro 4.2 - Tipo de mensagens (trocada entre agentes).....	72
Quadro 4.3 - Resumo de actividades e acções do agente.....	74
Quadro 4.4 – Parametrização e configuração do Conjunto de Testes A.....	80
Quadro 4.5 – Parametrização e configuração do Conjunto de Testes B.....	81
Quadro 4.6 – Resultados do Conjunto de Testes A.....	82
Quadro 4.7 – Resultados do Conjunto de Testes B.....	84

MOTIVAÇÃO

A natureza distribuída de certos sistemas e processos coloca, geralmente, desafios cuja abordagem passa pela descentralização - tanto do ponto de vista da solução como dos recursos envolvidos. Nesses sistemas, é comum a presença de controladores locais com o papel de manter as variáveis relevantes do processo dentro dos seus limites aceitáveis. Essa tarefa de regulação pode ser posta em causa em situações onde as solicitações feitas a cada um dos controladores locais sejam contraditórias, irrealistas e impossíveis de cumprir devido a certas limitações físicas do processo. Os sistemas de canais abertos de distribuição de água por acção da gravidade constituem um exemplo desta situação. Por exemplo, caso um controlador situado a montante decida, unilateralmente, actuar nas estruturas de controlo (comportas) do canal no sentido de interromper a passagem de água, pouco ou nada poderá fazer um controlador situado na zona mais a jusante para responder positivamente a uma solicitação.

Por outro lado, numa situação de interesses divergentes, qualquer decisão unilateral por parte de um controlador local condiciona negativamente o desempenho de outros, e desta forma pouca ou nenhuma coordenação existe entre os controladores. Isto significa que as entidades que estabelecem as solicitações, ou definem os parâmetros de funcionamento do sistema devem concertar as posições divergentes e conflituantes - ou seja, negociar os seus interesses de acordo com as restrições e limitações existentes. Tal possibilidade garantiria, globalmente, uma maior coordenação no controlo exercido pelos diversos controladores locais.

Actualmente, há uma tendência para as diferentes áreas do saber se abrirem às contribuições de outros campos científicos e forjarem soluções cuja inspiração provém da observação de fenómenos e comportamentos que ocorrem na natureza, nas sociedades animais e humanas. As áreas ligadas à engenharia de controlo devem acompanhar tal tendência, pois é um facto que o avanço tecnológico permite ponderar soluções que outrora eram impensáveis; e os sistemas de controlo serão tanto mais robustos, flexíveis e eficientes quanto mais “inteligentes” forem.

Certos recursos do planeta Terra podem ser considerados “*recursos escassos*” na medida em que o ritmo a que são consumidos é muito superior à sua velocidade de reposição, isto é, os seus ciclos são significativamente longos. A disponibilidade de tais recursos fica comprometida se o seu acesso não for gerido de forma racional e optimizada - isto implica boas políticas de gestão que equilibrem dois aspectos essenciais: a satisfação no consumo e a racionalização. A água (doce) é um desses recursos. Esse facto justifica qualquer esforço que promova a sua boa gestão, incluindo o bom funcionamento das estruturas e sistemas de captação, transporte e distribuição.

OBJECTIVOS E CONTRIBUIÇÕES

No presente trabalho, pretende-se analisar e apontar caminhos ou solução para o problema da coordenação (ou falta dela) do controlo descentralizado exercido por múltiplos controladores locais em sistemas distribuídos, através do conceito de agentes inteligentes. Concretamente, o cenário em análise é o de um sistema de canais de distribuição de água por acção da gravidade.

As metodologias propostas resultam numa abordagem macroscópica ao problema, significando que são independentes do nível de detalhe do controlador – e quer isto dizer que o desenho e especificação de controladores não são objecto de estudo. Uma arquitectura de coordenação do controlo, modular, com três níveis é apresentada, com especial realce para o nível de abstracção onde os agentes inteligentes orquestram todo o processo de coordenação com base na negociação automática.

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos, além desta introdução. O primeiro capítulo é integralmente dedicado à apresentação do cenário em foco, e do problema concreto em estudo. É feita ainda uma ronda pela literatura relacionada com o tema do controlo em canais de abastecimento de água - o estado da arte na matéria. No segundo capítulo é aberto espaço para abordagem ao tema dos agentes inteligentes - enquanto conceito, tecnologia e suas potencialidades dentro e fora do contexto da dissertação. Nesse capítulo são também abordados aspectos relevantes

acerca do tema da negociação automática - enquanto mecanismo de suporte à decisão, suas características e propriedades fundamentais.

As metodologias propostas são apresentadas no terceiro capítulo, e no quarto é feita a análise ao alcance e validade das mesmas. Também no quarto, as opções mais relevantes no que diz respeito à implementação da arquitectura proposta são abordados, e são apresentados resultados e simulações que ilustram o processo negocial de que depende a possibilidade de coordenação do controlo.

Finalmente, o quinto capítulo é reservado ao balanço e conclusões globais, havendo ainda lugar para perspectivar desenvolvimentos futuros.

Fazem ainda parte desta dissertação dois anexos: o primeiro diz respeito aos testes e simulações do processo negocial entre agentes; o segundo corresponde ao CD-ROM com a implementação da arquitectura proposta, e com a versão digital da dissertação.

1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

1.1 CANAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POR ACÇÃO DA GRAVIDADE

Um canal aberto de distribuição/abastecimento de água por acção da gravidade é uma estrutura que canaliza a água desde o reservatório ou fonte até ao utilizador final. Os canais de irrigação e de drenagem são um exemplo típico. Nesses canais a zona mais a montante encontra-se a uma cota mais elevada relativamente àquela situada a jusante, o que permite que a força da gravidade seja suficiente para transportar o caudal disponível pelo leito em rampa, da fonte para o beneficiário situado num ponto a jusante.

A importância que a água tem para a vida justifica o enorme esforço colocado na edificação de estruturas (barragens, reservatórios, canais, poços) para a sua captação e transporte. Esse esforço, muitas vezes, significa a superação de um sem número de obstáculos – acidentes geográficos, distâncias, ou desafios de natureza técnica (ponto de vista da engenharia). Os canais podem estender-se por grandes distâncias, em diferentes localizações, facto que, por si só, remete para muitos dos desafios associados aos sistemas complexos e de larga escala. O controlo (garantir que determinado comportamento se verifique, de acordo com as restrições e condições impostas) é uma questão incontornável numa rede canais.

Vários autores e grupos de investigação têm dedicado um esforço considerável ao estudo dos canais e problemas relacionados. Hoje mais do que no passado, a gestão dessas estruturas é sobretudo automatizada, havendo por esse motivo grandes desenvolvimentos e propostas de soluções que visam uma maior optimização e eficiência. Inúmeros algoritmos e estratégias de controlo têm sido propostos ao longo dos anos, tanto no domínio do tempo como no domínio da frequência, ver [Schuurmans 1999], [Reddy 1999], [Liu 1994], [Litrice 2006], [Swamee 1995], [Clemmens 2004], a título de exemplo. No entanto, como sugere Clemmens ([Clemmens 2004]), apenas parte desses algoritmos e estratégias foram já implementadas e testadas em sistemas de canais reais – isto porque são poucos os canais disponíveis para efeitos de testes e validação de metodologias de controlo. Assim, a simulação assume-se como um meio alternativo para a avaliação das soluções.

1.1.1 DESCRIÇÃO E MODELAÇÃO DO CANAL

Do ponto de vista esquemático, um canal pode ser representado como uma cascata de blocos tipo piscina (pool). A configuração em série é uma característica que facilita a análise do sistema, (Figura 2.1), sendo que cada 'pool' representa uma porção do canal compreendida e delimitada pelas comportas (gates) que são, geralmente, estruturas hidráulicas [Litrico 2005].

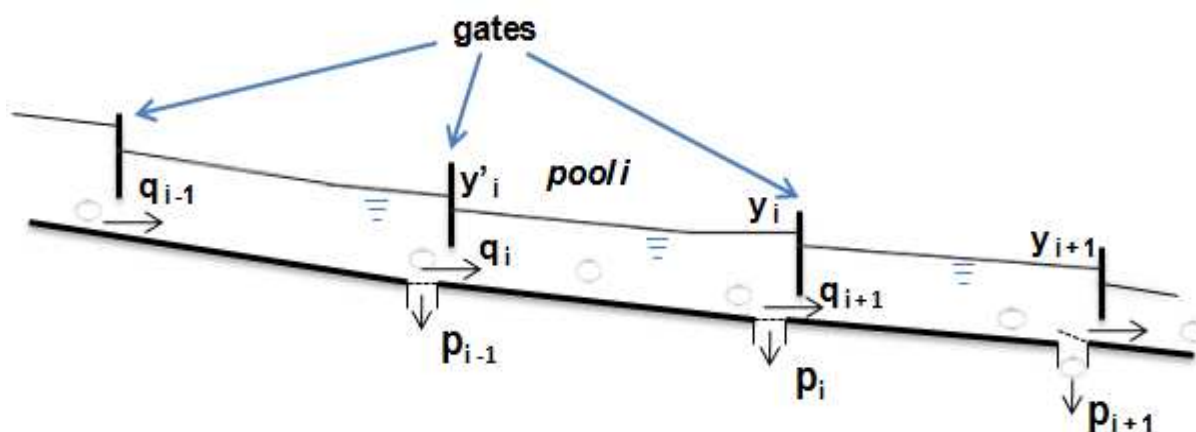


Figura 1.1- Vista longitudinal de um canal

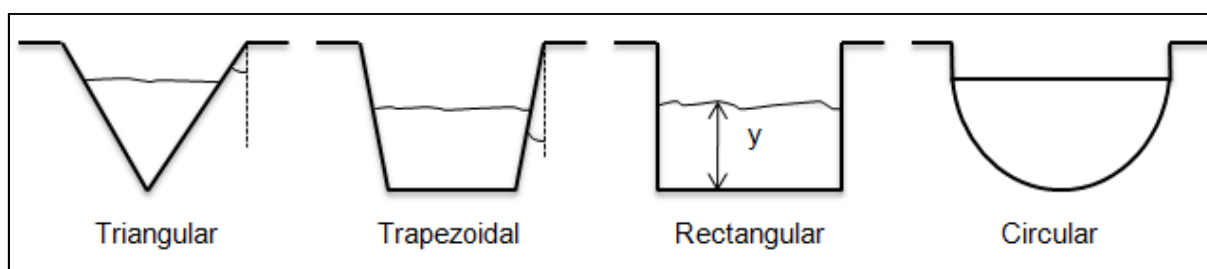


Figura 1.2- Vista transversal: diferentes tipologias de secções de um canal

Em cada pool há uma dinâmica de transporte, cuja modelação será dada a devida atenção, mais adiante. A configuração em série faz emergir no sistema global uma interdependência devido ao fenómeno de influência mútua entre os blocos adjacentes.

Ainda na Figura 1.1, a função das comportas (**gates**) é actuar sobre o caudal q que flui entre duas piscinas; y'_i e y_i denotam, respectivamente, os níveis a montante ('upstream') e jusante ('downstream') em cada piscina; p representa uma perturbação no sistema (o consumo efectuado por um consumidor a dado momento, por exemplo), e i identifica o índice relativo a cada uma piscina.

São conhecidas diversas topologias de canais, Figura 1.2. Neste trabalho não será dedicada atenção especial às características e parâmetros (geométricos e

aspectos hidrodinâmicos) das várias topologias, que possam ser relevantes para a modelação do sistema (da dinâmica do fluxo/caudal no canal, particularmente). Autores como Swamee [Swamee 1995] descrevem detalhadamente parâmetros físicos e hidrodinâmicos (secção óptima, velocidade do caudal, a área superficial da massa de água, e outras variáveis como o nível no canal) para os diferentes casos, evidenciando as relações entre os mesmos.

Formulação analítica da dinâmica

A dinâmica existente em cada piscina é normalmente modelada segundo equações de Saint-Venant – equações não-lineares, às derivadas parciais, envolvendo o caudal $Q(x, t)$ e a profundidade ou nível da massa de água $Y(x, t)$, (1.1) equação da continuidade e (1.2) equação da dinâmica, seguindo [Reddy 1999] e [Liu 1994]:

$$\frac{\partial Y(x, t)}{\partial t} = -\frac{1}{L} \left(\frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} + w \right) \quad (1.1)$$

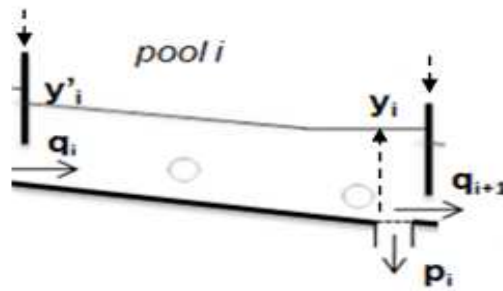
$$\frac{\partial Q(x, t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2(x, t)}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial Y(x, t)}{\partial x} - S_0 + S_f \right) \quad (1.2)$$

onde: t é o tempo (s); x é a coordenada horizontal (m); A é a área transversal coberta pela mancha de água (m^2); L corresponde a largura da superfície do volume de água (m); g é a aceleração da gravidade (ms^{-2}); w representa perturbações quaisquer (perdas laterais, ...); S_0 é o declive do leito; S_f corresponde ao coeficiente de atrito. $Q(x, t)$ e $Y(x, t)$ expressos em unidades (m^3s^{-1}) e (m), respectivamente.

As duas equações anteriores, (1.1) e (1.2), não podem ser resolvidas analiticamente ([Liu 1994]), motivo pelo qual as soluções são sobretudo obtidas por meio de métodos de aproximação numérica. Assim, a linearização das equações de Saint-Venant é um passo importante, pois permite reescrever o comportamento do sistema como um conjunto de equações lineares (diferenciais, ordinárias), mais fáceis de analisar e aplicar os conceitos da teoria de controlo, sob certas condições. Autores como Reddy e Liu, apontam o método de aproximação por diferenças finitas e a série de expansão de Taylor como forma de solucionar as equações ([Reddy 1999], [Liu 1994]).

Modelo simplificado

O fenómeno de transporte no canal tem associado um atraso, ou seja, há um intervalo de tempo para o fluxo-caudal percorrer a piscina, do seu início ao fim. Esse tempo, depende não só das características físicas construtivas (área, comprimento/distância entre as comportas, topologia da secção, etc) do canal/piscina mas também de parâmetros hidrodinâmicos (velocidade do caudal, coeficientes de atrito, capacidade de descarga, etc), sendo por isso uma variável a ter em conta na formulação matemática da dinâmica.



Para um troço do canal da Figura 2.1 como o acima representado, após a abertura da comporta do lado de y'_i , o caudal q_i chegará ao seu final com um atraso de τ_f segundos. De igual modo a influência de q_{i+1} (e de p_i se esta não for desprezável) far-se-à notar no extremo oposto com um atraso de τ_b segundos. O nível ao longo da piscina irá variar naturalmente com o tempo (consequência da flutuação do volume), de acordo com as restrições e condições de operação.

Como referido anteriormente, o 'ambiente' num canal é verdadeiramente não-linear, com diferentes regimes de fluxo-caudal, fruto da imprevisibilidade inerente às condições de funcionamento dos vários troços. Contudo, considerando condições mais ou menos uniformes, o comportamento e a dinâmica presente podem ser modelados como se segue, (1.3):

$$\left\{ \begin{array}{l} A_1 \frac{dy_i(t)}{dt} = q_i(t - \tau_f) - [q_{i+1}(t) + p_i(t)] \\ A_2 \frac{dy'_i(t)}{dt} = q_i(t) - [q_{i+1}(t - \tau_b) + p_i(t - \tau_b)] \end{array} \right. , \quad (1.3)$$

onde A_1 e A_2 têm o mesmo significado que A em (2.2); q_i e q_{i+1} são o caudal de entrada e de saída, respectivamente; τ_f é o tempo de atraso no sentido $y'_i - y_i$; τ_b corresponde ao atraso no sentido $y_i - y'_i$; i identifica a piscina em causa.

Os tempos de atraso podem ser obtidos de forma analítica a partir de parâmetros hidráulicos de cada piscina ([Litrico 2005]), ou experimentalmente através de medições. Como é óbvio o par de expressões (1.3) permite descrever analiticamente o comportamento do sistema no domínio do tempo.

A análise no domínio da frequência tem as suas vantagens, já referidas, o que leva a que muitos modelos sejam obtidos nesse domínio, ([Litrico 2004]).

Assim, aplicando a transformada de Laplace a (1.3), o modelo anterior, agora no domínio da frequência, tem a seguinte forma, (1.4):

$$\begin{bmatrix} Y_i(s) \\ Y'_i(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\alpha_i}{s} e^{-\tau_{fi}s} & -\frac{\alpha_i}{s} \\ \frac{\beta_i}{s} & -\frac{\beta_i}{s} e^{-\tau_{bi}s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_i(s) \\ Q^*_{i+1}(s) \end{bmatrix}, \quad (1.4)$$

com $\alpha_i = \frac{1}{A_1}$ e $\beta_i = \frac{1}{A_2}$, $Q^*_{i+1} = (Q_{i+1} + P_i)$; s é a variável (Laplace) para o domínio da frequência. O caudal Q será função da posição da comporta - gate g .

O modelo (1.4) está na base do muito conhecido e difundido 'Integrator Delay model'- ID, frequentemente citado na literatura, ([Schuermans 1999], [Litrico 2004], [Fromion 2004]), por exemplo). A designação do modelo é facilmente entendida, pois 'D' estará claramente associado ao tempo de atraso que marca o fenómeno de transporte no canal, e 'I' porque de facto o sistema tem uma natureza integrativa – por exemplo, o nível y num dado instante de tempo será o integral, desde o instante inicial até ao instante em causa, duma função que governa a sua variação ao longo do tempo.

Diversas variantes do referido modelo têm sido apresentadas por alguns autores, por exemplo, Litrico e seus colegas propõem o 'IDZ' (integrator delay zero) para modelar a dinâmica para qualquer regime de operação (uniforme ou não - uniforme) em baixas e altas frequências, ([Litrico 2004], [Fromion 2004]). Segundo os mesmos, a introdução da componente 'Z' permite superar as limitações que o modelo ID apresenta em altas frequências, quando se trata de capturar satisfatoriamente a influência directa que a descarga tem no nível de água na piscina ([Fromion 2004]). Ainda em [Litrico 2004], os autores realçam o contributo dado por 'Schuermans' enquanto precursor dos modelos ID, e apontam vantagens e limitações que esses modelos apresentam.

O modelo global do canal será então uma combinação das dinâmicas individuais modeladas para cada piscina. Em [Litrice 2005], os autores mostram como estender a aproximação ID para múltiplas piscinas.

Para um canal com n piscinas, virá:

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_i(s) \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1(s) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & G_i(s) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & G_n(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1(s) \\ Q_i(s) \\ \vdots \\ Q_n(s) \end{bmatrix}, \quad (1.5)$$

com $i = 1 \dots n$; $Y_i(s) = [Y_i(s) \ Y'_i(s)]^{-1}$ de, $Q_i(s) = [Q_i(s) \ Q_{i+1}^*(s)]^{-1}$; e G: uma matriz

com elementos diagonais definidos por: $G_i(s) = \begin{bmatrix} \frac{\alpha_i}{s} e^{-\tau_{f_i}s} & -\frac{\alpha_i}{s} \\ \frac{\beta_i}{s} & -\frac{\beta_i}{s} e^{-\tau_b s} \end{bmatrix}.$

Os diferentes modelos têm como fim a aplicação de técnicas de controlo automático, por sinal um dos grandes desafios em sistemas do tipo. A seguir será feita uma ronda pela forma como este assunto tem sido tratado até aqui.

1.1.2 ESTRATÉGIAS E POLÍTICAS DE CONTROLO

De forma genérica, o problema de controlo num canal pode ser resumido e enunciado como se segue:

- a) *garantir que as variáveis de interesse estejam dentro dos valores estabelecidos como referências;*
- b) *garantir que num dado ponto do canal, o caudal solicitado seja entregue no instante de tempo previsto ou adequado;*

Naturalmente, o sucesso de b) está irremediavelmente dependente do grau do sucesso conseguido para a).

A satisfação do cliente estará dependente da qualidade de serviço oferecida pelo processo de controlo. Essa qualidade de serviço estará directamente relacionada

com a capacidade de o controlador responder a uma solicitação num intervalo de tempo adequado. Há ainda que contar com a questão da poupança do recurso (a água), que é, como se sabe, escasso (caso da água doce).

Portanto, uma boa estratégia de controlo deve contemplar os aspectos anteriormente referidos. O compromisso entre a eficiência – qualidade de serviço e a poupança constitui um desafio, pois as duas valências são conflitantes.

Um outro factor que tem grande influência na estratégia e no tipo de controlo é a natureza distribuída do sistema. Como visto anteriormente, Figura 1.1, as comportas que delimitam as piscinas estão distribuídas ao longo do comprimento do canal, e são elas que permitem a entrada ou saída do caudal que circula entre a série de piscinas. Assim sendo, na prática o controlo do sistema global passa sobretudo pelo controlo dessas estruturas, individualmente em cada troço, de acordo com as restrições aí existentes (locais) e sem desprezar as interdependências entre blocos adjacentes.

Estratégias de controlo

São muitas as propostas de algoritmos e estratégias para garantir o objectivo de controlo em sistemas de canais. As vantagens e desvantagens das diversas soluções têm sido amplamente discutidas na literatura por diferentes autores ([Liu 1994], [Litrico 2005]), reflectindo uma considerável diversidade de visões sobre o assunto.

Do ponto de vista da relação entrada - saída, as variáveis de controlo relevantes são, geralmente: o caudal, como a acção de controlo, e o nível no canal, como variável de saída. Na prática, a quantidade de caudal que passa pela comporta depende da posição desta (se mais ou menos fechada/aberta) pelo que a própria posição da comporta pode também ser considerada acção de controlo.

A estratégia de controlo tem a ver com a definição das características do controlo pretendido: onde actuar, como e quando actuar, e quais as variáveis relevantes para o cumprimento do objectivo.

Em sistemas de canais de irrigação são seguidas as abordagens seguintes:

- 1) *'distant downstream control'* (controlo longínquo)
- 2) *'local upstream control'* (controlo local)
- 3) *'mixed control'* (controlo misto)

Em [Litríco 2005] e [Liu 1994], os autores referem e destacam estas abordagens como sendo as políticas de controlo dominantes em estruturas do tipo. Uma má escolha da estratégia de controlo colocará em causa, muito provavelmente, o sucesso do controlo pretendido.

Nesta altura é importante perceber em que consiste cada uma das abordagens.

1) *Distant downstream control*

Tipicamente consiste em controlar o nível y_i com recurso à variável de controlo q_i (na prática q_i é ajustado pela abertura da comporta do lado de y'_i). O ajustamento é feito tendo em conta a demanda (consumo/perda) na zona 'downstream' de cada piscina.

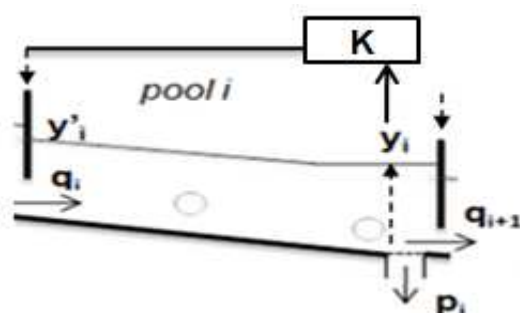


Figura 1.3 – Esquema da estratégia 1)

2) *Local upstream control*

Aqui, y_i continua a ser a variável de saída (a controlar) mas a acção de controlo é agora a variável q_{i+1} . As perturbações na zona 'upstream' chegam ao fim da piscina sem que haja qualquer reajustamento de q_i .

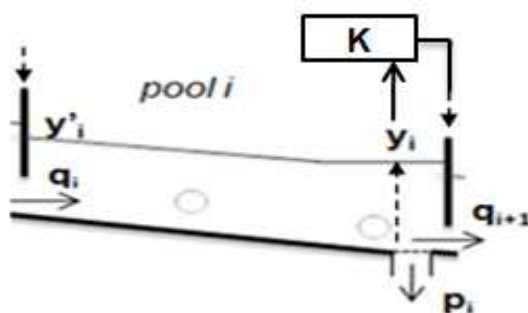


Figura 1.4 - Esquema da estratégia 2)

3) *Mixed control – distant downstream + local upstream control*

Consiste numa abordagem híbrida, isto é, controlar o nível y_i com q_i e q_{i+1} como variáveis de acção de controlo. Esta abordagem garante uma maior flexibilidade, já que permite aproveitar os pontos mais fortes das duas anteriores.

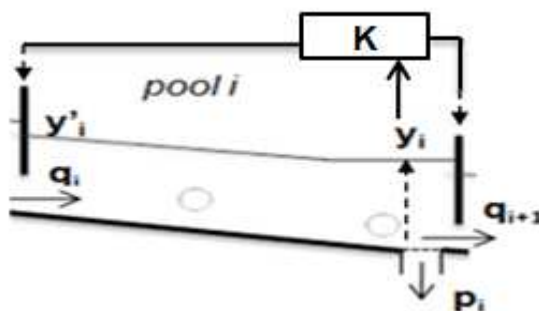


Figura 1.5 - Esquema da estratégia 3)

Em qualquer um dos casos (Figuras 1.3, 1.4 e 1.5) **K** representa um controlador qualquer, e todos eles apresentam vantagens e inconvenientes. Em [Litríco 2005] e [Liu 1994], os autores analisam com maior detalhe as diferentes estratégias.

Configurações de controlo

Diferentes configurações de controlo podem ser aplicadas para efeitos de controlo em redes de canais, havendo também nesse campo diversas propostas e soluções. Essencialmente, são três as configurações:

- *controlo centralizado*
- *controlo descentralizado*
- *controlo semi-centralizado ou misto*

Controlo descentralizado.

A natureza distribuída das estruturas que regulam o caudal é um aspecto que sugere uma arquitectura distribuída para o controlo. Na prática, essa configuração consiste em ter localmente controladores afectos e responsáveis pelo controlo em cada piscina ou comporta. Os controladores descentralizados apresentam vantagens bem conhecidas: uma delas tem a ver com a sua maior robustez (tolerância a falhas) – uma falha num nó local não impede que os outros possam continuar a laborar, e no que toca a custos, uma estrutura descentralizada é, em princípio, mais barata. Segundo Schuurmans os controladores descentralizados são também mais simples e fáceis de entender, ([Schuurmans 1999]).

Controlo centralizado.

A arquitectura centralizada tem por base a concentração da informação relevante para o controlo. Esse facto eleva o grau de complexidade, dado ao considerável volume de informação (variáveis, sinais, etc) a ser gerido, e aumenta a

vulnerabilidade (menor tolerância a falhas) do sistema de controlo. Acresce a isto maiores custos económicos (manutenção, capacidade de armazenamento de dados, etc). Porém, a possibilidade de ter toda a estrutura gerida a partir de uma determinada localização pode ser útil em certas circunstâncias.

Controlo semi-centralizado ou semi-descentralizado.

Em determinadas circunstâncias pode ser simplesmente impraticável ter todo o sistema de controlo do canal baseado apenas numa das duas configurações anteriores. Por exemplo, podem existir dificuldades de comunicação em certos troços do canal, o que impediria que as diferentes estruturas (sensores, actuadores) pudessem comunicar com o controlador central (a correr num computador, por exemplo) – nesse caso fará todo o sentido instalar controladores locais autónomos (configuração descentralizada) nos troços com comunicação deficitária, e nos restantes manter a solução centralizada. Esta configuração é também útil em situações em que apenas é relevante ter os controladores locais vizinhos (mais próximos) a comunicar entre si.

Controladores: metodologia e tipos de controlo

Independentemente da estratégia de controlo adoptada, o desenvolvimento de controladores robustos e fáceis de sintonizar é um desafio permanente. Ao longo dos anos diferentes metodologias de controlo têm sido testadas e aplicadas em sistemas de controlo. Das mais simples às mais complexas, vão desde o simples e clássico controlo PI/PID a técnicas mais convencionais como o controlo preditivo, controlo ótimo, reguladores lineares quadráticos (rlq), etc, ([Liu 1994] - [Schuurmans 1999], [Reddy 1999], [Clemmens 2004], [Fromion 2004], [Litrice 2004], [Litrice 2005], [Litrice 2006], [Wahlin 2006], para referir alguns).

Um exemplo interessante, é o controlador apresentado em [Schuurmans 1999]. No referido trabalho, os autores apresentam um controlador baseado na arquitectura ‘master-slave’ (mestre-escravo). A função de cada componente é bem definida: o ‘escravo’ com a função de controlar os caudais que fluem pelas comportas; e o ‘mestre’ com a função de gerar o caudal de referência q_i^* necessário para controlar y_i . Segundo os próprios, o controlador mestre é na verdade um conjunto de controladores PI - um *feedback controller* (para a realimentação), um *feedforward controller* (para lidar com o fenómeno inverso da realimentação) e um *decoupler*

controller (para acautelar/anular o fenómeno de acoplamento¹ entre controladores de piscinas adjacentes). A Figura 1.6 mostra a sua arquitectura, onde h_i é posição da comporta **G**, t_i corresponde ao instante de tempo em que o actuador **A** começa a reagir sobre a comporta, e_i o erro de seguimento para o caudal; **MC** é o ‘master controller’ e **SC** o ‘slave’; P_i representa as perturbações medidas.

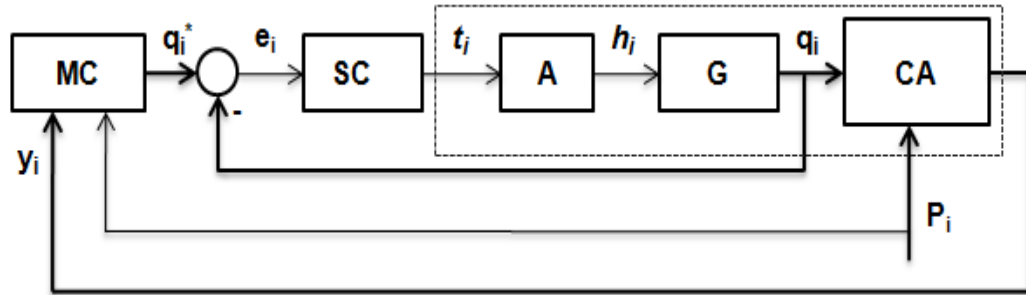


Figura 1.6 – controlador master-slave (adaptado de [Schuurmans 1999].)

Schuurmans defende a sua arquitectura master-slave afirmando: ‘a aplicação de loops de realimentação a partes/zonas do sistema que contribuem para as não-linearidades, permite atacar, na sua origem, o problema da degradação do desempenho do controlador.

Actualmente, falar de controlo automático é falar de controladores digitais, os quais requerem a descretização dos modelos obtidos em tempo contínuo.

1.2 O PROBLEMA DA COORDENAÇÃO DO CONTROLO

Como foi visto anteriormente, um sistema de canais de irrigação é uma estrutura complexa – tendo em conta os desafios que a sua operacionalização coloca. Um desses desafios prende-se com a gestão e racionalização da água, que é um bem cada vez mais escasso. Os beneficiários servidos pela rede de canais têm as suas necessidades de consumo que devem ser satisfeitas em tempo útil, espera-se. Os perfis dos beneficiários são não lineares, caracterizando-se por um alto grau de imprevisibilidade. É comum encontrar entre clientes desse tipo de infra-estruturas,

¹ O fenómeno consiste no seguinte: a acção de um controlador local associado a uma piscina tem influência nas piscinas (e suas variáveis relevantes para o controlo) adjacentes, a si alheias do ponto de vista do controlo. Para anular o dito efeito, o controlo deve contar com uma estrutura que cancele as influências quando estas são ou causam efeitos indesejáveis que dificultam o desempenho do controlador – ‘desacoplador’.

perfis tão diversos como agricultores, albufeiras municipais (empresas de distribuição de água), criadores de gado, e até mesmo centrais ou mini-centrais hídricas com necessidade de transportar, armazenar e distribuir a água pelos seus circuitos internos. Por outro lado, as necessidades do cliente podem variar consoante a época do ano.

Com tantos interesses e restrições em jogo, a gestão manual duma rede de canais adivinha-se muito complicada. O controlo automático é por isso uma solução necessária, sobretudo em canais com características de um sistema de larga escala. Para esse efeito, muitas são as propostas conhecidas. Diferentes estratégias e metodologias que reflectem diversas visões surgiram, muito como respostas a necessidades específicas de controlo, ou então para suprir limitações existentes na literatura associada ao controlo de sistema de canais de abastecimento.

A automatização deve não só dar resposta ao cumprimento das restrições de funcionamento do sistema mas também garantir que essa resposta se faça num quadro de racionalização e optimização no acesso ao recurso. Obviamente deve ser também eficiente.

Independentemente da complexidade do controlador adoptado, ou da estratégia de controlo, é preciso ter presente as características especiais do sistema aqui em causa:

- forte interdependência entre troços ou piscinas que constituem o canal;
- natureza distribuída das estruturas de regulação do caudal (comportas);
- um tempo de atraso que marca o fenómeno de transporte no canal;
- multiplicidade de variáveis;
- não-linearidades;
- interesses conflitantes;

O controlo e o projecto de controladores representam um grande desafio. Actualmente o estado da arte no que toca à teoria de controlo, e particularmente na literatura afecta aos sistemas de canais, uma quantidade de metodologias e soluções, satisfatória, permite e tem permitido lidar com o desafio de controlo e automatização desses sistemas, de forma mais ou menos eficiente. Porém, as abordagens actuais não respondem totalmente a todos os desafios de um sistema com tais características, havendo ainda espaço para novas visões.

Num canal com uma única piscina (situação rara) o problema de controlo resume-se ao controlo de um sistema com uma entrada e uma saída – sistema SISO² (single input, single output), sendo por isso facilmente resolvido. E nesse caso não há qualquer fenómeno de interdependência a ser equacionado.

Menos triviais são os casos (rede de canais) em que o canal é constituído por diversas piscinas, sendo por isso um sistema MIMO³.

Com este cenário, uma questão importante emerge:

como conciliar os interesses muitas vezes opostos dos diversos controladores locais, numa arquitectura de controlo distribuída como a que se apresenta na Figura 1.7 (ver a página seguinte), de forma justa e sem colocar em causa a eficiência do sistema e a racionalização do recurso?

No presente trabalho, o foco não será colocado ao nível do detalhe (equações, formalismos e aspectos meramente matemáticos, etc) do desenho de controladores para uma rede de canais, pois a este nível há uma diversa gama de soluções interessantes e referenciada na literatura específica. Antes, a tónica será colocada na busca de novas abordagens que sirvam de resposta à questão anterior.

²Um sistema com uma entrada (single input) e uma saída (single output). A saída é normalmente a variável a controlar.

³Um sistema com múltiplas entradas e múltiplas saídas. Pode haver nesses casos variáveis de saída que não são variáveis a controlar.

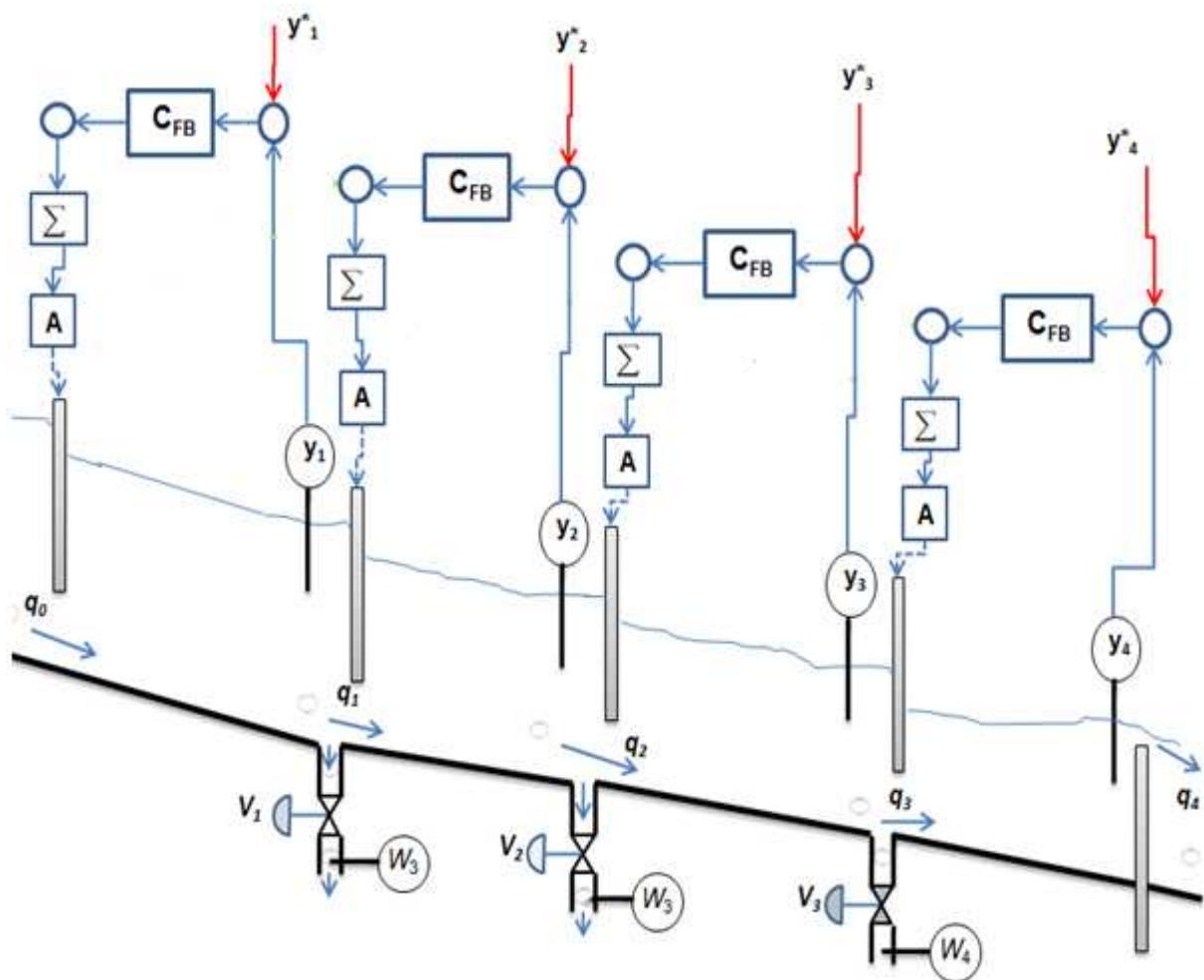


Figura 1.7 – Esquema de controlo: série de controladores locais aplicados ao canal

Num sistema como este, há limitações físicas (decorrentes do seu funcionamento) que impedem que o controlador satisfaça o seu objectivo de controlo. Por exemplo, se o controlador afecto à piscina nº. 2 fechar unilateral e inadvertidamente a comporta que controla q_1 , nada poderá fazer o controlador da nº. 3 para manter o nível y_3 dentro do valor desejado. Com este cenário, a dada altura, a piscina 1 irá ficar vazia ou transbordar.

A situação anterior permite identificar outra valência que os controladores devem ter: a **capacidade de cooperação**. Se os controladores cooperarem, decisões unilaterais podem ser evitadas.

A cooperação irá implicar capacidade de comunicação entre os controladores.

Entretanto, a própria comunicação entre os controladores só terá o impacto desejado se for feita de forma organizada e sistemática – isto levanta uma outra necessidade: a **coordenação entre os controladores**.

Havendo coordenação e cooperação entre os controladores, os diversos interesses poderiam ser melhor geridos, contribuindo para a satisfação global, por via da satisfação individual de cada controlador (consumidor). Assim, mais uma questão importante impõe-se: **como conferir ao sistema de controlo capacidades de coordenação e cooperação?**

1.3 SÍNTESE

Um canal de irrigação apresenta-se como um sistema complexo (formado por uma série de troços/piscinas delimitados por estruturas de controlo conhecidas por comportas e cuja função é controlar o caudal que flui entre os mesmos), de natureza distribuída. O sistema é caracterizado por um fenómeno de transporte, e marcado por fortes não-linearidades e interdependências. A Modelação analítica do fenómeno físico que marca a dinâmica do canal é feita à custa de equações de Saint-Venant (diferenciais, às derivadas parciais). Para efeitos de controlo, a dinâmica dada pelas Saint-Venant é linearizada, levando a modelos simplificados do canal-piscinas. Um dos mais conhecidos é modelo ID – integrator-delay.

A Automatização de tais estruturas coloca enormes desafios, dada a natureza distribuída e multivariável do sistema. Na literatura relacionada, diversas soluções e metodologias de controlo são propostas, com os seus méritos e limitações. Políticas e estratégias de controlo adequadas são fundamentais: as mais comuns são: *upstream control* 1), *downstream control* 2) e *mixed* 3). A estratégia 1) beneficia mais a poupança, e penaliza o tempo de resposta às solicitações do cliente; a 2) é o oposto, sendo que a 3) permite conciliar as duas primeiras, aproveitando as suas vantagens.

Actualmente, os controladores propostos defendem sobretudo os seus interesses locais, funcionando de forma isolada. Isto levanta o problema da falta de coordenação, e cooperação entre os controladores que garantem o objectivo de controlo. O problema fundamental, o qual pretende-se apontar solução, prende-se com a necessidade de garantir que o controlo se faça de forma coordenada.

2. AGENTES INTELIGENTES E NEGOCIAÇÃO

2.1 CONCEITO DE AGENTE

Um agente é um conceito plural, multifacetado e abrangente, e cuja definição tem motivado diversas discussões e visões. Porém, há uma base de consenso relativamente às noções essenciais que contam para a sua definição.

Em diferentes contextos o termo “agente” poderá assumir diferentes conotações, mas a ideia geral que se tem quando o termo é referido, é: alguém ou uma entidade que age, devidamente mandatado, em benefício de um terceiro – um representante com uma tarefa bem atribuída e de quem se espera o melhor desempenho possível a favor dos interesses do representado.

No campo científico, o termo “agente” ganhou novas conotações e significados, sem, no entanto, se afastar demasiado do significado mais comum e tradicional – é o caso das áreas relacionadas com o tema da inteligência artificial (e às ciências da computação em geral).

Algumas definições mais conhecidas (e referidas na literatura relacionada) de agentes são:

Agent by *Russell and Norvig* ([Franklin 1996]):

“An agent is anything that can be viewed as perceiving its environment through sensors and acting upon that environment through effectors”;

Agent by *Brustoloni* ([Franklin 1996]):

“Autonomous agents are systems capable of autonomous, purposeful action in the real world”;

Agent by *Maes* ([Franklin 1996]):

“Autonomous agents are computational systems that inhabit some complex dynamic environment, sense and act autonomously in this environment, and by doing so realize a set of goals or tasks for which they are designed”;

No trabalho [Wooldridge 1995] Wooldridge e Jennings apresentam o conceito de agente com base em duas visões: uma que consideram ser a “*noção fraca*” de agente, e outra que apelidam de “*noção mais forte*”. Na *noção fraca*, a mais genérica

e consensual, as seguintes propriedades são definidas para um agente (hardware ou software):

- autonomia - ausência da necessidade de evoluir no seu ambiente com qualquer intervenção externa (ajudas humanas ou outras, por exemplo);
- capacidades sociais - o agente estabelece relações de interacção com os seus pares: - a troca de informações é fundamental, levantando a necessidade de comunicação;
- reactividade - o agente reage em resposta a alterações (estímulos) que ocorrem no ambiente onde está inserido;
- pro-actividade - o agente toma iniciativa e age consoante os seus objectivos;

Para a noção mais forte de agente, além das propriedades anteriores, os autores defendem as seguintes características: conhecimento, crença, intenções, obrigações, ou mesmo as emoções - repare-se que estas características são traços ou atributos geralmente associados ao ser humano. Outros atributos como a mobilidade, benevolência (pressuposto de que o agente não age de má fé, prejudicando os objectivos em jogo (seus ou de outros), veracidade (não veiculação de falsa informação) e a racionalidade, fazem parte da lista de características apontadas pelos referidos autores.

Qualquer uma das definições anteriores sugerem que um agente é uma entidade activa, característica que lhe permite evoluir no seu ambiente, modificando-o sempre que necessário. Assim, resumindo, um **agente** pode ser definido como uma entidade que **percepção** o ambiente em que está inserido, e **actua** sobre o mesmo, de acordo com as suas crenças e interesses por si defendidos.

2.1.1 AGENTES INTELIGENTES

O que é então um agente inteligente?

Repare-se na definição dada por Barbara Hayes-Roth, referida por Stan Franklin ([Franklin 1996]):

“Intelligent agents continuously perform three functions: perception of dynamic conditions in the environment; action to affect conditions in the environment; and -

reasoning to in interpret perceptions, solve problems, draw inferences, and determine actions.”;

A definição de Hayes-Roth traz ao de cima uma outra característica até aqui omitida: a capacidade de raciocínio lógico sobre a informação percebida, com inferências e estabelecimento de relações num ambiente dinâmico - de facto, esses atributos e características andam próximo daquilo que é tido como alguma “inteligência” nos humanos.

Assim, um **agente inteligente (AI** na Figura 2.1) pode ser visto como aquele que emerge da conjugação das seguintes características: 1- **cooperação**, 2- **autonomia**, e 3 - capacidade de **aprendizagem**.

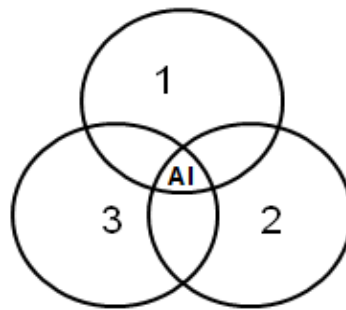


Figura 2.1- Agente inteligente (adaptação da visão defendida por Nwana, referenciado em [Fonseca 2001])

Classificação e arquitecturas de agente

A classificação de agente é sobretudo baseada nas características, atributos, tipo de raciocínio, nas funções que desempenham, etc. Várias propostas de classificação têm sido apresentadas na literatura específica ([Wooldridge 1995], [Franklin 1996], [Fonseca 2001]) – por exemplo, agente cooperativo quando este coopera, agente móvel quando o agente tem a capacidade de se deslocar (passar de uma máquina para outra) numa rede de computadores (tratando-se de um agente software). Outra forma de classificar agentes é com base na forma como são implementados ou evoluem no seu ambiente – a sua arquitectura.

Duas grandes arquitecturas ou classes de agentes são frequentemente referenciadas na literatura específica sobre o assunto:

- arquitectura reactiva;
- arquitectura cognitiva;
- arquitectura híbrida.

Os **agentes reactivos** ([WWW - MultiAgente]) não têm qualquer representação (modelo) explícita do ambiente em que evoluem, sendo que o seu comportamento típico é baseado no paradigma acção - reacção (estímulo - resposta). O comportamento inteligente é algo que emerge das interacções (fracas e inconscientes) entre agentes com comportamentos básicos e objectivos individuais bem definidos – esta é uma clara aproximação ao que acontece em sociedades biológicas/etológicas (com numerosa população) como as formadas por formigas, enxames, etc: o comportamento inteligente resulta da inteligência do grupo.

Por seu turno, os **agentes cognitivos** baseiam-se em modelos e conceitos organizacionais, característicos da sociedade humana (grupos, hierarquias, diferentes tipos de papeis), onde a representação explícita do mundo envolvente é indispensável para planear, deliberar e cumprir objectivos. A percepção e a consciência que têm do seu ambiente são fundamentais, e o comportamento inteligente individual é potenciado pelo grau de concertação existente no grupo.

Agentes cognitivos	Agentes reactivos
Com modelo explícito do mundo	Sem modelo explícito do mundo
Deliberativos, Planeadores	Reacção a estímulos
Poucos com alguma complexidade	Muitos com comportamentos básicos
Inteligência que emerge da concertação no seio da sociedade	Inteligência que emerge do comportamento individual

Quadro 2.1- Resumo de características principais de arquitecturas de agentes

As vantagens, desvantagens e os detalhes de cada uma das arquitecturas anteriores não serão aqui discutidas, podendo ser encontradas na literatura específica (ver por exemplo: [Wooldridge 1995], [WWW - MultiAgente]). Como é óbvio, a arquitectura híbrida tentará aproveitar os pontos fortes das duas anteriores.

Uma representação formal do agente

No contexto deste trabalho, um agente será formalmente representado ou definido da seguinte forma (compacta):

$$\text{Agente} = \{\textit{Percepção}, \textit{Decisão}, \textit{Acção}\}$$

Naturalmente, implícitos estão os possíveis estados internos S , e a memória M construída com base em percepções, estados internos e interacções do agente:

- **Percepção:** *Ambiente externo* $A + S + M \rightarrow$ *Percepção*, com $(A + S + M)$ poder-se-á definir a *Consciência* C , e reescrever:
Percepção: **Consciência** \rightarrow **Percepção**, sendo:
Consciência: $(A + S + M) \rightarrow$ *Consciência*;
- **Decisão:** *Percepção* \rightarrow *Decisão*;
- **Acção:** *Decisão* \rightarrow *Acção*;

Esta formulação permite capturar a essência do conceito de agente: entidade que percebe o seu ambiente, raciocina sobre, e age. A decisão será, obviamente, resultado do processo de raciocínio, o qual dependente da informação disponível (percepções), e tem especial relevância, já que permite determinar qual a acção.

2.2 SISTEMAS MULTI-AGENTE SMA E APLICAÇÕES

A área da Inteligência Artificial Distribuída IAD tem sido um dos principais impulsionadores da tecnologia dos agentes. Muitos sistemas apresentam uma natureza distribuída, carecendo por isso de soluções distribuídas, as quais colocam grandes desafios. Entre esses desafios está a necessidade de cooperação entre os seus diferentes subsistemas. Noutros casos, simplesmente a solução torna-se mais fácil se o problema global for subdividido em problemas mais simples. Em cenários como estes, a cooperação, a comunicação e a coordenação tornam-se críticos para o cumprimento do objectivo ou solução global que se quer atingir.

Assim, a metáfora de se ter os agentes (entidades substitutas dos humanos) como paradigma para abordar desafios como os anteriores parece ter, cada vez mais, o seu espaço. Prova disso são as inúmeras áreas em que a tecnologia dos agentes tem sido aplicada com algum sucesso. A internet (comércio electrónico, gestão de e-mails, ...), a gestão dos sistemas e redes de energia ou de telecomunicações, o controlo do espaço e tráfego aéreos, sistemas de transportes, são exemplos conhecidos, [Wooldridge 1995].

Num sistema multi-agente, vários agentes trabalham em nome de um objectivo comum, ou tentam defender os seus interesses individuais, com base em concertação prévia com os demais agentes do sistema.

Poder-se-á dizer que, potencialmente, todas as áreas ou sistemas onde a cooperação, a necessidade de coordenação e soluções distribuídas são uma característica, os SMA têm aplicabilidade.

Por exemplo, recorde-se o problema da coordenação do controlo num sistema de canais de irrigação, atrás apresentado. Para um sistema do tipo, será que a tecnologia dos agentes é uma opção válida para a resolução do problema em causa? Contando com o que foi referido até agora, tudo leva a crer que sim. Na secção seguinte, pretende-se analisar e justificar a escolha dessa tecnologia para fazer a abordagem ao referido problema.

2.2.1 O CASO DOS CANAIS DE IRRIGAÇÃO: PORQUÊ AGENTES?

A escolha de uma dada tecnologia ou ferramenta deve ter por base a correspondência entre aquilo que a tecnologia oferece (as suas capacidades) e os desafios que o problema a ser tratado colocam.

O problema da coordenação do controlo no canal coloca, entre outros, os seguintes desafios:

- solução distribuída (as estruturas de controlo têm uma natureza distribuída);
- necessidade de cooperação entre controladores;
- comunicação e interacção entre os controladores;
- ambiente dinâmico e imprevisível;
- tomada de decisão distribuída;

Enquanto tecnologia, os agentes permitem, por exemplo:

- ✓ distribuir a solução por entidades autónomas;
- ✓ lidar com a complexidade e imprevisibilidade característicos dum ambiente dinâmico;
- ✓ definir e gerir interacções entre as entidades autónomas;
- ✓ concertar posições divergentes entre as várias entidades;
- ✓ lidar com a necessidade de cooperação;

Portanto, é válido concluir que a tecnologia dos agentes (SMA) é uma ferramenta poderosa, e que se adequa aos problemas em foco no presente trabalho.

2.2.2 MECANISMOS DE COMUNICAÇÃO E CONCEITOS RELEVANTES

Uma sociedade de agentes é marcada por interacções entre os seus membros. A interacção implica a troca de informações que possam ser relevantes para o cumprimento dos objectivos – comunicação.

Vários esquemas de comunicação podem ser adoptados: por exemplo, em certos casos é mais viável que os agentes comuniquem directamente entre si, e noutros a comunicação pode ser feita de forma indirecta, através do depósito da informação em zona/locais de acesso público, para posterior consulta por parte dos agentes (*'blackboard'*⁴), ou através de intermediários (estes agentes recolhem e armazenam a informação proveniente de um agente, e disponibilizam-na a um terceiro quando solicitada).

Na prática, os agentes (aqui entidades de software) comunicam por meio de uma **linguagem**⁵ previamente definida. São conhecidos alguns padrões nessa matéria, como sejam: *ACL*⁶ e *KQML*⁷ ([WWW – FIPA-ACL], [Fonseca 2001]). Alternativamente, uma qualquer linguagem específica pode ser também adoptada para que os agentes possam comunicar – tipicamente, trocar mensagens com determinado formato. Por sair fora do âmbito deste trabalho, este assunto não será aqui desenvolvido.

Plataformas e ambientes de desenvolvimento

São o conjunto de ferramentas disponíveis para implementar os SMA. O paradigma da Programação Orientada a Objectos POO enquadra-se perfeitamente nas exigências (características modulares) de uma solução baseada em agentes. Por esse motivo, linguagens de programação como o Java, C++ têm sido adoptadas, muitas vezes, para efeitos de desenvolvimento. Outras soluções mais integradas, como exemplo, o *JADE* (Java Agent Development environment), desenvolvida pela

⁴ Blackboard (ou quadro negro) – na prática, corresponde a zonas de memória partilhada.

⁵ Conjunto de símbolos convencionados (formalizados através de uma ontologia – especificação ou representação da informação ou conceitos), que permite codificar a informação ou mensagem a ser transmitida no processo de comunicação/interacção.

⁶ *ACL* - Agent Communication Language (linguagem de comunicação entre agentes). Inspirada no padrão *KQML*, permite, essencialmente, definir a estrutura de encapsulamento da mensagem.

⁷ *KQML* - *Knowledge Query and Manipulation Language* (linguagem para o acesso e manipulação de informação e conhecimento entre agentes). Baseada na troca de mensagens, define e especifica toda a informação relevante para a compreensão do conteúdo da mensagem.

Telecom Itália (através do seu laboratório TILab), são também uma hipótese (consultar [www - JADE]). A plataforma é gratuita, e disponibiliza uma vasta gama de recursos para o desenvolvimento de aplicações *Agent-Oriented* (*orientadas a agentes*), e como é perceptível, tem por base a já referida linguagem Java.

Também neste ponto, não serão discutidos e aprofundados os detalhes, vantagens ou desvantagens das diferentes opções para ferramentas de desenvolvimento.

Protocolos de Interação

Ainda numa sociedade de agentes (marcada pela interação e comunicação), é importante a definição de regras que estabelecem os moldes em que o processo de interação tem lugar, evitando-se a anarquia e o caos – os protocolos de interação. Por exemplo, numa situação em que dois agentes tenham que negociar uma qualquer posição, é imprescindível que cada um deles saiba e conheça as regras do jogo, isto é, do processo negocial: como e quando enviar propostas/contrapostas, a quem enviar, etc.

Fica assim introduzida a noção de negociação entre agentes. Em particular, neste trabalho, o processo negocial assume especial relevância, uma vez que irá permitir aos agentes (espera-se) concertar posições divergentes, com o intuito de promover alguma cooperação, e por essa via garantir toda a coordenação possível, que é, como se sabe, o objectivo maior desta dissertação.

A seguir apresentar-se-ão os aspectos essenciais (e mais relevantes) do processo negocial (entre agentes).

2.3 NEGOCIAÇÃO

Em determinados contextos, a existência de conflitos leva a impasses que colocam em causa, normalmente, um determinado objectivo. E o conflito acontece quando estão em jogo forças de intensidades iguais (ou equivalentes), mas com sentidos opostos - interesses divergentes. Nessas situações, uma saída possível é tentar concertar ou conciliar as posições divergentes. Isto implica negociar.

A negociação permite clarificar posições que sustentem a tomada de decisão, e nessa medida pode ser vista como um mecanismo de suporte à decisão. Num ambiente multi-agente, a negociação constitui uma forma importante de interação entre os agentes que participam na sociedade.

2.3.1 NEGOCIAÇÃO COMO MECANISMO DE SUPORTE À DECISÃO

A negociação é um processo interactivo de tomada de decisão, entre pelo menos dois actores, num contexto de alguma interdependência (ou influência mútua) entre as decisões ou posições individuais de cada um – é uma concertação que visa a adopção de um posicionamento que satisfaça a todos os envolvidos - acordo.

Assim, um processo negocial (Figura 2.2) será bem sucedido se terminar com um acordo, e mal sucedido se acontecer o contrário. As decisões de cada actor poderão ser favoráveis ou não à obtenção do acordo.

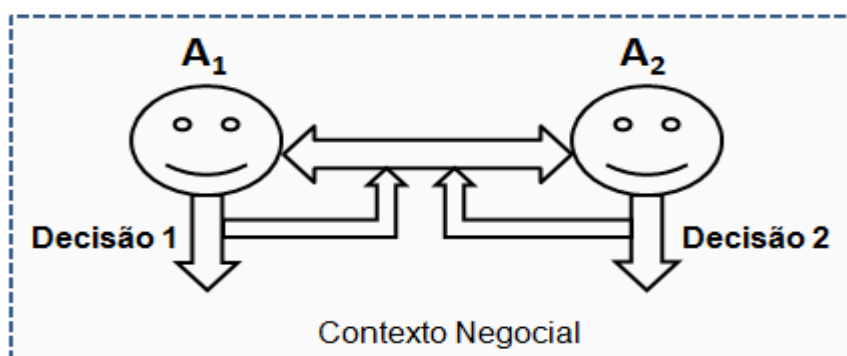


Figura 2.2 - Esquematisação do processo negocial entre dois actores (A₁ e A₂)

2.3.2 CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO NEGOCIAL

Os processos negociais são caracterizados por um conjunto de elementos e noções relevantes. Aqui serão destacados apenas os mais relevantes para o âmbito do presente trabalho (negociação automática): Atributos, contexto, metodologias e modelos, e etapas negociais, número de participantes.

Atributos

Os atributos da negociação permitem configurar e definir aspectos como:

- a)** o conjunto (ou espaço) de propostas; **b)** o protocolo (ou protocolos);
- c)** estratégias e táticas; **d)** o acordo; **e)** critérios para avaliação de propostas;

a) O conjunto (ou espaço) de propostas

Para negociar é preciso conhecer, previamente, o que está em jogo - o que se quer negociar. Uma vez definido o assunto em negociação, cada parte apresenta as

suas propostas (ou contra-propostas) à contraparte. O domínio da negociação permitirá estabelecer todo o conjunto de possibilidades a apresentar como propostas. Por exemplo, se estiver em causa a negociação de uma determinada quantidade q de um certo bem, entre um fornecedor e um cliente, num *domínio* $D = [q_{min}, q_{max}]$ ($D \in \mathbb{R}_0^+$), uma proposta poderá ser um qualquer valor v pertencente ao domínio D , havendo por isso n possibilidades de proposta $q_n = v_n$.

b) Protocolo (s)

As regras do processo são definidas segundo o protocolo escolhido, daí a sua relevância em todo o processo. Diferentes propostas de protocolos e mecanismos de negociação (essencialmente automática) são frequentemente citados na literatura relacionada - ver/consultar por exemplo: [Faratin 1997], [Soo 2002], [Bigham 2003], [Winoto 2004], [Nguyen 2004], [Robu 2005], [Hindriks 2008], [An 2008]. Tradicionalmente, muitos protocolos negociais são inspirados na ideia de leilões - protocolos de leilão, e no conceito de contrato - protocolo de redes de contrato.

Protocolos de Leilão – existem diversas variantes (leilão inglês, holandês, vickerey), e tipicamente consistem num problema de alocação de recursos, onde compradores (licitadores) e vendedores (leiloeiros) negociam com base numa lógica de mercado (recurso em jogo, comprador, vendedor, preço do recurso) para defender os seus interesses individuais. ([Fonseca 2001] cap.2, pg. 36-45), ([Costa Fonseca 2003] pg. 43-45).

Protocolo Rede de Contratos – genericamente, consiste na subdivisão de tarefas ou problemas: a ideia é que um agente recorra a serviços de terceiros para cumprir uma dada tarefa que, sozinho, não poderia completar por falta de meios ou recursos. Assim, numa primeira fase irá apresentar as propostas/anúncios de serviços a todos os interessados – fase do anúncio. Seguidamente, os potenciais interessados (prestadores de serviços) irão avaliar as propostas recebidas e apresentar as suas propostas e condições para a prestação do serviço solicitado. Finalmente, numa terceira etapa, o agente solicitador irá receber e analisar as propostas. A mais vantajosa é seleccionada, e o acordo será firmado entre as partes - contrato.

c) Estratégias e Táticas

A **estratégia** tem que ver com a postura e a atitude durante a negociação. Algumas estratégias habituais em processos negociais:

- Cooperativa/Colaborativa: win - win (ganha - ganha) - quando as partes envolvidas se pugnam por uma postura que conduz a satisfação de todos. É muito comum em processos negociais onde as partes têm objectivos comuns.
- Competitiva / Egoísta: win - lost (ganha-perde) - uma das partes tira maior proveito da negociação, colocando em primeiro plano apenas os seus interesses.
- Negativa/Destrutiva: lost - lost (perde - perde) - um actor com tal postura não terá qualquer problema em perder, desde que a contra-parte também perca.

Fará sentido adoptar a estratégia win-win por exemplo, num processo de negociação automática sobre a definição de rotas de voo num sistema de controlo de tráfego aéreo – o objectivo comum seria evitar colisões. Numa situação de interesses opostos, a postura win-lost poderá gerar maior satisfação (e. g. negociação sobre o tempo de entrega de um pedido entre um cliente e um servidor).

A **táctica** define as acções, o comportamento, o modo de agir e fazer durante a negociação. Os próprios critérios e as opções adoptadas na condução do processo fazem parte da táctica. Por exemplo, um actor pode decidir que as suas propostas são elaboradas com base no tempo (tácticas dependentes do tempo) e/ou nos recursos (tácticas dependentes do recurso) disponíveis, ou com base no comportamento (tácticas dependentes do comportamento) da outra parte. Faratin ([Faratin 1997]) considera essas três grandes famílias de tácticas e explica os seus detalhes.

d) O acordo - a sua definição

Em qualquer negociação o acordo acontece porque, a dada altura, os intervenientes no processo reconhecem que as suas pretensões e/ou interesses estão suficientemente salvaguardados. E Isto acontece porque os princípios ou regras tidas como balizas são verificados - vêem as suas condições satisfeitas.

As regras do acordo não só o definem (o que pode ser o acordo) como também indicam quando pode ser alcançado.

e) Critérios para avaliação de propostas

Nos processos negociais as propostas são boas ou más conforme cumpram ou não com os requisitos considerados aceitáveis. Portanto, é indispensável conhecer e definir critérios/métricas que permitem avaliar o quão bom ou mau uma proposta é para cada negociador. No fundo, trata-se de definir e avaliar a utilidade de uma proposta face aos interesses em jogo.

Ainda relacionado com critérios de avaliação, a própria negociação e o protocolo devem ser também avaliados, sobretudo na negociação automática/computacional. Nessa matéria, alguns critérios possíveis podem ser: **bem-estar social/divisão justa** (o ganho global obtido pelas partes – a sensação de justiça é importante), **simplicidade do protocolo** (não deve ser demasiado pesado, em termos de comunicação e da própria computação), **a eficiência de pareto** (quando o maior benefício ou utilidade de uma parte não signifique perda de utilidade pela outra parte), **simetria** (se todos os envolvidos estão em pé de igualdade), **racionalidade individual** (por exemplo, um agente participa na negociação contando que ganha mais em participar do que se não participar). ([Fonseca 2001], cap.2, pg. 36-37).

Contexto negocial

O contexto em que decorre a negociação pode condicionar os seus resultados. Diferentes contextos poderão significar a adopção de diferentes posturas, tácticas, ou estilos negociais. O contexto negocial tem que ver com o ambiente e com as circunstâncias, condições e restrições em que decorre a negociação.

Metodologias e modelos

As metodologias e modelos prendem-se com as técnicas e abordagens seguidas para o processo negocial. Diversas perspectivas têm vindo a ser seguidas: económica, teoria dos jogos, heurísticas (teorias diversas). Segundo Johannessen, essas têm sido as abordagens dominantes (tradicionais), mas actualmente, além dessas, as perspectivas de processo e da comunicação são também importantes ([Johannessen 1997], pg. 2).

Wellman [Wellman 1995] justifica a **abordagem económica** com base em três ideias ou premissas: 1- o problema fundamental a ser resolvido é, muitas vezes, um problema de alocação de recursos; 2- útil para modelar o comportamento em termos de uma racionalidade abstracta (ou é uma abstracção útil para modelar o

comportamento racional); e 3- essencial para considerar que as entidades ou actividades podem ser ou estar descentralizadas. As metodologias e modelos de base económicas privilegiam as situações em que os intervenientes ganham por competir e/ou colaborar entre si, e adaptam-se as circunstâncias (são dinâmicos) do contexto negocial. No entanto, fazem algumas simplificações da realidade (não consideram situações puramente conflituosas, por exemplo).

Os modelos inspirados na **teoria dos jogos** são puramente competitivos, pois dão primazia apenas a maximização dos ganhos do negociador - a lógica é a dos jogos de soma nula, onde os jogadores apenas ganham por competir - é por isso contrário à situação anterior (modelos económicos).

A **abordagem heurística** tem por base regras que permitem enquadrar a negociação de forma mais realista, perfilando-se como uma alternativa aos modelos anteriores, principalmente os da teoria dos jogos, onde a cooperação é normalmente impossível. As propostas de Faratin, por exemplo, têm por base uma abordagem heurística ([Faratin 1997]).

Em alguns casos, os actores poderão apresentar razões - argumentos que sustentem as suas posições ou opções. A **argumentação** (apresentação de castigos/punição, recompensas ou apelos) poderá ser vista como uma forma de tentar influenciar o comportamento da contraparte, sendo um complemento às abordagens e metodologias anteriores.

Etapas negociais

O processo negocial é marcado por três fases essenciais: a fase pré-negocial, a fase de negociação, e pós-negociação.

Cada uma das etapas tem a sua especial relevância:

- Pré-negociação: etapa importante porque dela depende a boa preparação do processo: a reunião do conjunto de informações relevantes possíveis para o processo, a escolha das estratégias, tácticas, a definição de objectivos, entre outros aspectos.
- Negociação: etapa fundamental para o todo processo, pois é aí que se desenrola toda a interacção relevante do processo.

- Pós-negociação: relevante pelo facto de ser aí que conclusões importantes sobre o processo, sobre as características e o comportamento dos outros actores envolvidos podem ser retiradas, e compiladas. Pode ser importante manter uma base de conhecimento sobre situações negociais que pode ser útil em futuras negociações.

Número de participantes

O número de participantes na negociação tem grande influência no desfecho que o processo pode ter. Certamente, haverá consenso sobre a seguinte afirmação: negociar com um interlocutor não é o mesmo que negociar com dez ou com cem interlocutores.

Uma análise empírica levaria, muito provavelmente, ao pensamento de que quantos mais agentes envolvidos num processo negocial, mais resistências há que quebrar, mais conflitos há que gerir, e consequentemente maiores as hipóteses de insucesso - de não haver acordo.

Ora, especialmente num contexto de negociação automática, um elevado número de intervenientes significa um considerável esforço computacional: bastante memória para gerir o elevado número de mensagens e interações, muitos processos em paralelo, dificuldades acrescidas para coordenar algoritmos e protocolos empregue. Portanto, essa análise justifica o pensamento empírico anterior.

Quanto ao número de participantes envolvidos, a negociação poder ser:

- Bilateral - um para um (entre dois actores ou agentes);
- Multilateral - um para muitos (um agente negocia paralelamente com mais de um agente: 1 - M);
- Multilateral - muitos para muitos (vários agentes negociam com outros tantos: N - M);

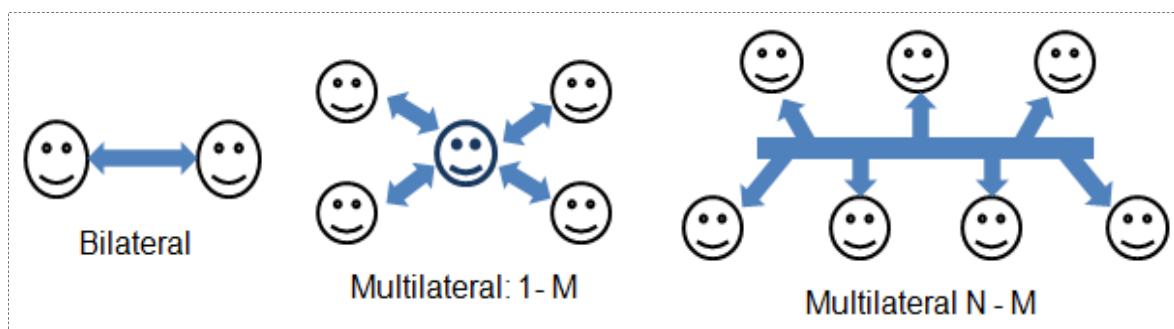


Figura 2.3 - Tipos de negociação quanto ao número de participantes

Um baixo número de agentes envolvidos favorece consideravelmente os processos de negociação automática. No contexto do presente trabalho será dada primazia à configuração bilateral, pelas razões óbvias.

2.3.3 A PROPOSTA MODELO DE FARANTIN – ASPECTOS ESSENCIAIS

No trabalho [Faratin 1997], apresenta-se uma proposta para um modelo formal de negociação entre agentes autônomos. Segundo os autores, a proposta contempla e define um conjunto de estratégias e táticas que podem ser empregue, por exemplo, para tratar a questão da geração, e/ou avaliação de propostas/contrapropostas.

Algumas das noções e características do modelo, explicam os autores, foram adaptadas das ideias iniciais de *Raiffa*, citado pelos próprios. Inicialmente o modelo foi aplicado no contexto da gestão de processos comerciais, mas parte-se do princípio que outras aplicações poderão ser encontradas para as referidas propostas (com as necessárias adaptações).

Algumas ideias e aspectos essenciais (relevantes para o presente trabalho) da estrutura do modelo proposto por Faratin serão apresentados a seguir.

Noções e pressupostos essenciais

- Um processo negocial (*negotiation thread*) será uma sequência de ofertas e contra-ofertas (propostas/contrapropostas) entre duas partes, acerca de determinados assuntos (variáveis) relevantes que estejam em negociação;

- As ofertas/contra-ofertas são geradas através de táticas - funções ou combinações lineares de funções. As táticas geram os valores das ofertas ou contra-ofertas, para cada assunto ou variável em discussão, com base em critério único (quantidade de recurso disponível, tempo, ou outro critério qualquer). Se diferentes critérios forem adotados em diferentes táticas, os critérios serão pesados (e combinados) para exprimir as preferências e importância de cada critério (e conseqüentemente a relevância de cada tática);

- As partes não têm, à partida, qualquer conhecimento ou informação (táticas, estratégias, objectivos) acerca da contraparte;

- Os agentes podem desempenhar dois tipos de funções/papéis: cliente e servidor;

Definições

i : representa um agente negociador, $i \in \{a, b\}$ e $(a, b) \in \text{Agentes}$

j : assunto ou item em negociação, $j \in \{1, \dots, n\}$

X_j : corresponde ao valor do assunto j , $x_j \in [\min_j, \max_j]$

V_j^i : é a função valor do agente i para o assunto j - mede a avaliação que o agente i faz para o assunto j , sendo $V_j^i : [\min_j, \max_j] \rightarrow [0,1]$

w_j^i : é peso ou a importância do assunto j para o agente i , $\sum_{j=1}^n w_j^i = 1$, $\forall i \in \{a, b\}$

Para vários assuntos, a função valor de um agente i para o global das avaliações individuais de cada assunto j virá definida pela função valor de Raiffa como:

$$V^i(x) = \sum_{j=1}^n w_j^i V_j^i(x) \quad (2.1)$$

A forma da função valor fica, para já em aberto.

c: um agente cliente.

s: um agente servidor.

$\text{Agentes} = \text{Clientes} \cup \text{Servidores}$

$x_{a \rightarrow b}^t[j]$ é o valor que o agente a propõe ao agente b para o assunto j , no instante

t , $x_{a \rightarrow b}^t[j] \in [\min_j^a, \max_j^a]$

$X_{a \rightarrow b}^t$ é o vector de propostas de a para b

As propostas de Faratin contemplam e definem três outras noções importantes:

1) Sequência de negociação, 2) Interpretação, e 3) Táticas.

1) Sequência de Negociação

Definição:

Num determinado instante t , entre dois agentes a e b - $X_{a \leftrightarrow b}^{t_k}$ (ou $X_{b \leftrightarrow a}^{t_k}$): uma sequência finita de valores com a forma $\{X_{a \rightarrow b}^{t_1}, X_{b \rightarrow a}^{t_2}, X_{a \rightarrow b}^{t_3}, \dots\}$, onde: as propostas são alternadas; $t_k \leq t_{k+1}$ ($k = \{1, 2, \dots\}$), e considera-se (por simplificação) o instante de tempo inicial $t_1 = 0$;

2) Interpretação

A interpretação será o entendimento que em cada instante um agente tem acerca do valor de uma proposta. A decisão estará dependente da interpretação feita, e poderá ser uma de três opções: rejeitar, aceitar ou apresentar contraproposta.

Definição: seja a um agente e V^a a sua função de avaliação; a interpretação do agente no instante t' para uma oferta enviada pelo agente b no instante t ($t < t'$), é definida como:

$$I^a(t', X_{b \rightarrow a}^t) = \begin{cases} \text{Rejeitar, se } t' > t_{max}^a \\ \text{Aceitar, se } V^a(X_{b \rightarrow a}^t) \geq V^a(X_{a \rightarrow b}^{t'}) \\ X_{a \rightarrow b}^{t'}, \text{ se } V^a(X_{a \rightarrow b}^{t'}) > V^a(X_{b \rightarrow a}^t) \end{cases} \quad (2.2)$$

A recusa acontece sempre que a oferta tiver sido feita depois do limite de tempo máximo t_{max}^a (considerado tempo útil para a obtenção do acordo).

Uma proposta recebida é aceite se a avaliação feita pelo agente não for inferior àquela que obteria para uma contraproposta enviada no instante seguinte t' - $V^a(X_{b \rightarrow a}^t) \geq V^a(X_{a \rightarrow b}^{t'})$. Portanto, a decisão de apresentar uma contraproposta acontece se o contrário se verificar - $V^a(X_{a \rightarrow b}^{t'}) > V^a(X_{b \rightarrow a}^t)$.

3) Tácticas

Faratin fala em famílias de tácticas para a geração de ofertas. Algumas delas serão consideradas para esse fim.

Tácticas dependentes do tempo - onde os objectivos temporais são fundamentais. Por exemplo, o comportamento do agente poderá alterar-se conforme tenha mais ou menos tempo disponível para concluir a negociação.

A oferta em cada instante é definida por:

$$x_{a \rightarrow b}^t[j] = \begin{cases} \min_j^a + \alpha_j^a(t)[\max_j^a - \min_j^a], & \text{se } V_j^a \text{ decrescente} \quad (i) \\ \min_j^a + (1 - \alpha_j^a(t))[\max_j^a - \min_j^a], & \text{se } V_j^a \text{ crescente} \quad (ii) \end{cases} \quad (2.3)$$

A função $\alpha(t)$ modela as várias tendências possíveis (maior/menor velocidade de convergência ou nível de concessão/resistência), e pode ser uma polinomial (2.4), exponencial ou outra qualquer.

$$\text{Polinomial: } \alpha_j^a(t) = k_j^a + (1 - k_j^a) \left[\frac{\min(t, t_{\max})}{t_{\max}} \right]^{\frac{1}{\beta}}, \text{ com} \quad (2.4)$$

$0 \leq \alpha(t) \leq 1$; $\alpha_j^a(0) = k_j^a$; $\alpha_j^a(t_{\max}) = 1$. O parâmetro k_j^a é uma constante (offset) que permite definir o valor inicial da oferta. Na prática, o parâmetro β define a propensão do agente para resistir ou fazer concessões durante a negociação. Tipicamente, para valores inferiores a um ($\beta < 1$), o agente irá resistir até onde as restrições temporais e a pressão para alcançar um acordo o permitirem, altura em que cede para propostas dentro do seu nível de reserva. E para valores superiores a um ($\beta > 1$), a receptividade é bastante, significando que converge rapidamente para os valores de reserva.

Táticas dependentes do recurso - modelam a pressão existente para alcançar acordos num contexto com recursos limitados. No essencial, são idênticas às dependentes do tempo (no que diz respeito a elaboração de ofertas), com diferença apenas na função $\alpha(t)$ agora dependente do recurso disponível $r(t)$. Um recurso poderá ser, por exemplo, a quantidade de valor monetário disponível para despende numa negociação.

$$\alpha_j^a(t) = k_j^a + (1 - k_j^a) e^{-r(t)} \quad (2.5)$$

Alternativamente as propostas podem ser elaboradas com base no comportamento do oponente (dependentes do comportamento) - considerando, por exemplo, as ofertas anteriores ou imitando a contraparte.

2.4 SÍNTESE

Os Agentes e Sistemas Multi-Agente (SMA) aparecem associados, no campo científico, à área da Inteligência Artificial (IA), concretamente à subárea da Inteligência Artificial Distribuída (IAD). E o grande interesse da IAD nos agentes deve-se ao próprio conceito que estes representam. Apesar das diferentes visões, algum consenso nessa matéria: um **agente** pode ser visto como uma entidade que **percepçiona** o ambiente em que está inserido, **actua** sobre o mesmo, de acordo com aquilo em que acredita, e que cumpre os objectivos a si delegados. Assim, além dessas características, um agente inteligente será aquele que raciocina sobre os factos, é capaz de estabelecer relações e inferências, e é capaz de adaptar-se a mudanças ocorridas no seu ambiente - autonomia, cooperação, e aprendizagem são as características essenciais. Essas características fazem da tecnologia dos agentes uma ferramenta poderosa para abordar problemas de natureza distribuída e com necessidade de soluções também distribuídas, onde a cooperação é importante. É o que tem acontecido em algumas áreas onde os SMA têm tido aplicabilidade - controlo de tráfego aéreo, gestão de sistemas e redes de energia e telecomunicações, ambientes WEB (comércio electrónico, filtragem de notícias, ...), etc.

Num ambiente SMA, os agentes cooperam para atingir objectivos comuns ou defendem interesses individuais e particulares. Isto significa que a interacção e a comunicação são um aspecto fundamental.

Em situações de interesses conflitantes as capacidades de interacção e comunicação podem ser aproveitadas para aproximar posições - isto remete para a possibilidade de os agentes negociarem os seus pontos de vista ou os interesses em jogo.

A negociação é por isso um instrumento de apoio à decisão, também num ambiente multi-agente. O processo negocial apresenta determinadas características – as mais relevantes para uma negociação automática mereceram destaque.

Este capítulo foi dedicado aos temas dos agentes e da negociação (em SMA), pela importância que têm para esta dissertação. Contudo, vários outros aspectos relacionados poderão ter ficado por referir, pois o foco foi direccionado para os aspectos considerados os mais relevantes.

3. METODOLOGIAS PARA A COORDENAÇÃO DO CONTROLO

No Capítulo 2. foi exposto o problema da coordenação do controlo num sistema de canais abertos de distribuição de água por acção da gravidade. A questão essencial tem a ver com a falta de coordenação entre os controladores locais afectos às estruturas de controlo (comportas ou 'gates') geograficamente distribuídas pelas diferentes secções do canal (piscinas ou 'pools'). Os controladores (actuais) tomam decisões de controlo apenas com base nos seus interesses individuais e locais - portanto, aparentemente sem significativa coordenação.

A natureza distribuída do sistema (e do problema) sugere uma solução também ela distribuída (daí o facto de o controlo nesse tipo de sistemas ser feito, normalmente, à custa de controladores locais). No terceiro capítulo, foi feito um enquadramento acerca do tema da negociação e das potencialidades da tecnologia dos agentes, com vista a uma solução para a questão até aqui em aberto.

A análise não será ao nível do detalhe/especificação do controlador, antes as metodologias e propostas apresentadas irão abordar a falta de coordenação numa perspectiva macroscópica.

3.1 UMA ABORDAGEM MACROSCÓPICA BASEADA EM AGENTES INTELIGENTES

Considere-se, de novo, a arquitectura de controlo apresentada anteriormente, Figura 1.7. Em condições normais, os controladores C_{FB} irão seguir as variáveis de referência y_i^* ($i=1, 2, \dots$) em cada piscina. Se os valores dessas variáveis de referência forem estabelecidos de forma a atenderem também aos interesses das piscinas adjacentes, a questão do controlo unilateral exercido por cada um dos controladores fica minimizada, e consequentemente a coordenação será promovida. Assim, independentemente do nível de detalhe do controlador em cada piscina, um agente associado ao controlador local terá a missão de negociar com os demais agentes (associados às piscinas adjacentes) os valores de referência y_i^* , Figura 3.1. Tal abstracção permite que os agentes funcionem também como intermediários com o mundo externo ao sistema (canal). Por exemplo, imagine-se um cenário onde um fornecedor (entidade responsável pelo abastecimento de água) queira condicionar a distribuição do bem ao cumprimento de determinados requisitos pelo cliente: se o

cliente é ou não gastador, se tem ou não o pagamento dos seus consumos em dia, etc. Havendo acesso a essas informações - via uma base de dados BD, por exemplo, o valor de referência negociado por um agente pode reflectir as restrições/condições aplicadas à situação em causa.

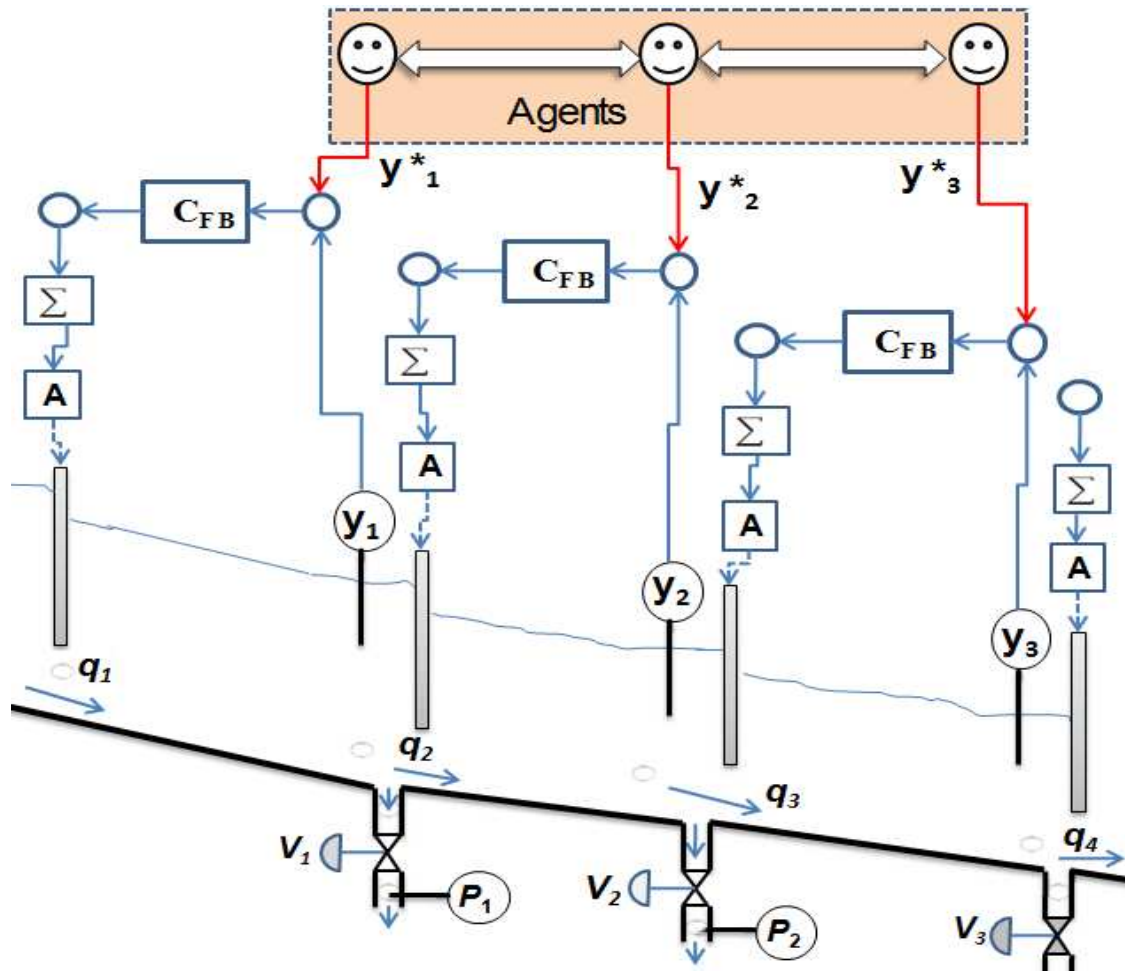


Figura 3.1- Troço de canal com agentes incorporados no esquema de controlo

Como é notório no esquema anterior (Figura 3.1), sem contar com a instalação (o canal e as estruturas de controlo), duas camadas fundamentais podem ser identificadas: a camada dos controladores, e a camada dos agentes.

Na **camada dos controladores**, estes irão manter as variáveis de interesse dentro dos limites estabelecidos. E toma-se como certo que o controlador cumpre a sua função de forma adequada.

Tendo conta que o detalhe/projecto do controlador não será objecto de análise ou estudo, mesmo os controladores actuais poderão perfeitamente 'encaixar' nas soluções apresentadas neste trabalho.

Este trabalho vem contribuir com a **camada dos agentes**, que deverá cumprir a missão fundamental que lhe é reservada no processo de coordenação - fornecer aos controladores valores de referência que reflectem o entendimento resultante do processo negocial. Portanto, a coordenação pretendida dependerá da negociação.

Conceptualmente, a estrutura modular aqui proposta para a coordenação do controlo em sistemas de abastecimento de água - como é o caso de uma rede de canais, é modelada como mostra a Figura 3.2.



Figura 3.2 - Modelo conceptual da arquitectura de coordenação do controlo

O esquema de controlo para cada troço do canal passa a ter incluído um agente (blocos A1/A2), Figura 3.3.

I_i ($i = 1, 2, \dots, n$ - número de piscinas consideradas) representa o conjunto de informações - percepções relevantes para o agente no processo negocial. Algumas dessas informações terão a sua origem associada ao canal/piscina, ou aos controladores. Outras estarão associadas a alguma fonte externa ao canal - uma base de dados/conhecimento BD, por exemplo.

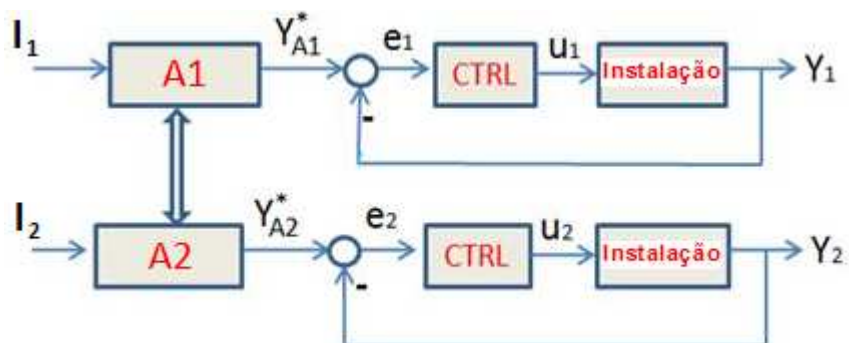


Figura 3.3 - Diagrama de blocos da arquitectura de controlo proposta

Do ponto de vista da especificação, o detalhe da arquitectura proposta terá o aspecto sugerido pela Figura 3.4. Ao nível do agente, este teria que planear, em cada momento, a resposta e as acções pertinentes para a situação verificada. Esse planeamento seria garantido pelos níveis de *coordenação* e de *decisão*. A ideia é que a conjugação das acções desses níveis permita lidar com questões como: quando negociar; com quem negociar; o que fazer aquando da recepção uma mensagem, etc - de alguma forma o agente terá que ter controlo sobre tais aspectos; o nível de decisão permitirá acomodar os diferentes aspectos inerentes ao próprio processo de interpretação e raciocínio - as regras para o processo negocial são um exemplo.

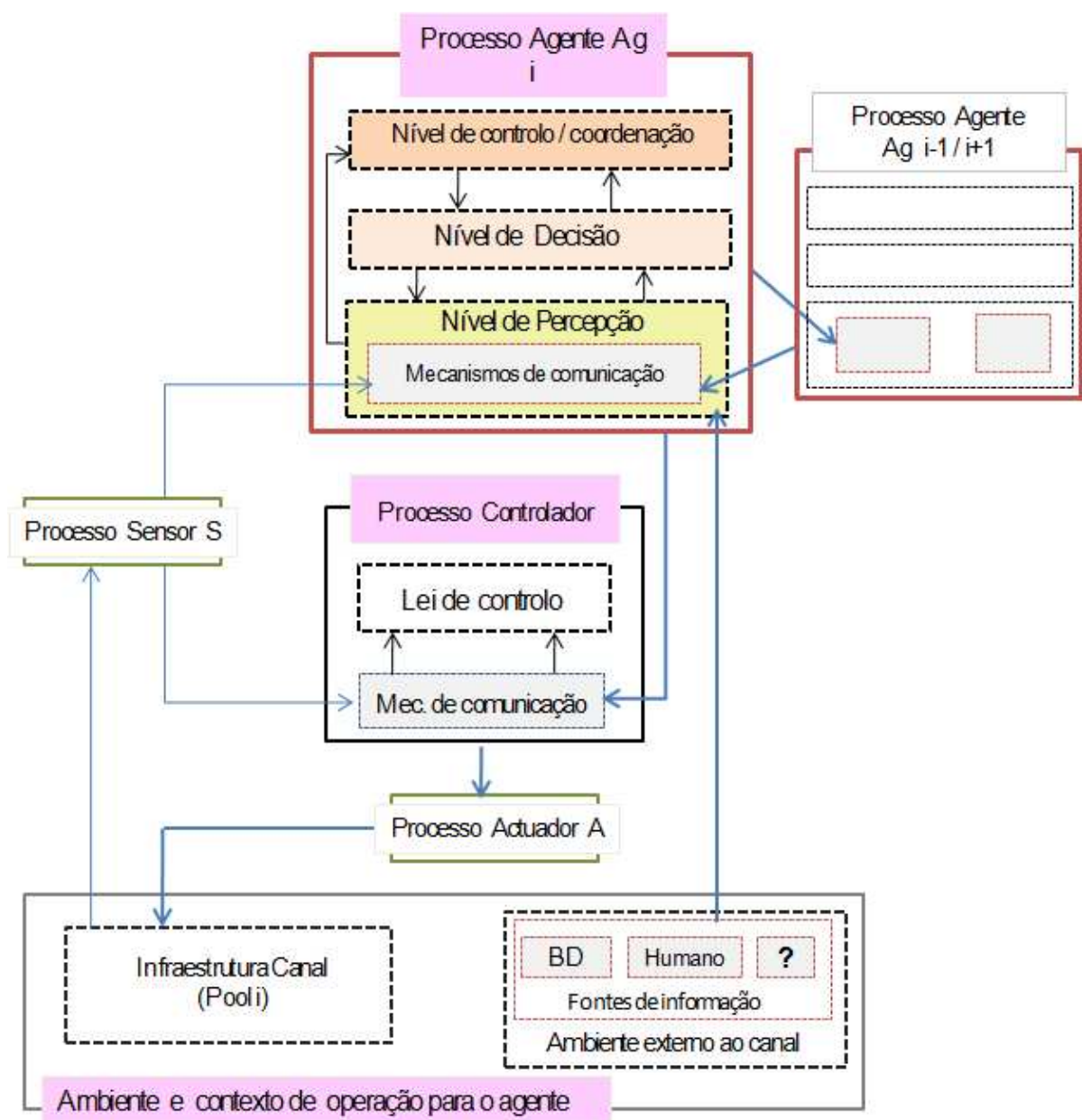


Figura 3.4 - Detalhe da arquitectura de coordenação do controlo

Não menos importante que os dois níveis da estrutura do agente já referidos é o nível de *percepção*. O seu papel é fundamental para o funcionamento desejado para o agente, isto é, para o posicionamento do agente enquanto entidade activa e dinâmica no ambiente em que evolui, sem esquecer a importância que tem tomada de consciência daquilo que é o seu mundo em cada momento.

Os mecanismos de comunicação deverão permitir que as informações relevantes fluam pelas diferentes camadas da arquitectura, e garantir que o seu acesso se faça de forma satisfatória.

A “Acção” resulta do processo de raciocínio e decisão efectuado. O seu resultado visível é a modificação do ambiente e contexto de operação - alteração da *consciência* do agente.

Nesse caso, uma acção poderá ser o envio de uma mensagem durante o processo negocial, o envio do valor negociado ao controlador associado ao agente, etc.

A estrutura aqui apresentada para o agente poderá, se necessário, acomodar outros níveis ou outra organização. Os diferentes níveis, eles próprios, poderão apresentar diferentes configurações e estrutura, dependendo do grau de complexidade pretendido, das condições, meios ou circunstâncias de implementação.

Quanto à informação relevante para o agente, essa terá origem no ambiente e contexto de operação (Figura 3.4) - havendo duas fontes essenciais:

1 - Infra-estrutura a controlar (a instalação): fonte de informação sobre algumas variáveis do processo, eventualmente úteis.

2 - ambiente externo: fonte de informação sobre aspectos fundamentais para o processo negocial e configuração ou funcionamento do sistema - por exemplo: restrições, parâmetros de configuração da negociação, etc.

Genericamente, o processo de coordenação do controlo poderá ser resumido como sugere o algoritmo seguinte:

Algoritmo de Coordenação do Controlo no Canal

Algoritmo de Coordenação do Controlo no Canal

Entidades: agente A, controlador C, Piscina i (A e C estão associados à piscina i)

Variáveis: $\left\{ \begin{array}{l} - \text{ Internas: caudais } q, \text{ nível de água } y \text{ nos diferentes troços e} \\ \text{ pontos, posição } p \text{ das comportas, etc} \\ - \text{ Externas: todas as informações relevantes do mundo exterior ao} \\ \text{ canal} \end{array} \right.$

Objectivo: coordenar o controlo global exercido pelos diferentes controladores

Em cada piscina:

Início:

- 1: Definir quais as variáveis a controlar - de saída, qual ou quais as variáveis para acção de controlo;
- 2: agente A_i **Negociar** os seus interesses com um agente A_{i+1} ou A_{i-1} associado ao troço/piscina adjacente, e
- 3: Fornecer ao controlador C_i o valor de referência que representa o compromisso resultante da negociação
- 4: Controlador C_i desempenha o seu papel habitual - calcular novo valor da acção de controlo

Fim

Negociar

Entidades: agentes

Variáveis: definir o conjunto de assuntos ou atributos relevantes para o agente

Objectivo: encontrar um compromisso que represente os interesses dos envolvidos

Para um agente A_i

Início

repetir

- 1: Percepcionar o ambiente e obter informações relevantes para o processo
- 2: Trocar propostas com o seu interlocutor (A_{i+1} ou A_{i-1}): implica raciocinar e decidir

até que haja um acordo ou o tempo disponível para negociar tenha esgotado

Fim

3.2 MODELO DE NEGOCIAÇÃO BILATERAL ORIENTADO A SERVIÇOS

Num sistema de canais os vários subsistemas assumem uma configuração em cascata. Esse facto sugere que os agentes associados aos vários troços e piscinas podem interagir preferencialmente com aqueles cuja acção possa ter algum impacto directo na piscina que representam - isto significa que importa negociar, fundamentalmente, com os agentes associados aos blocos adjacentes.

A negociação bilateral - dois actores, múltiplos assuntos ou atributos, é uma opção natural. A coordenação global será conseguida com base em negociações bilaterais faseadas. Este assunto será analisado mais adiante, na secção 3.3.

3.2.1 O PROTOCOLO DE INTERACÇÃO E NEGOCIAÇÃO ENTRE AGENTES

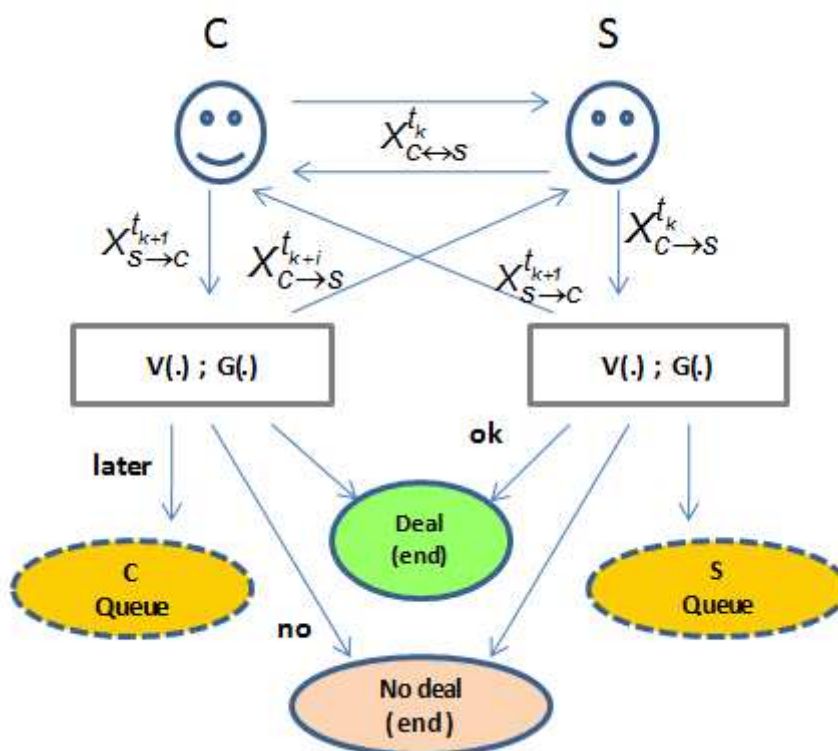


Figura 3.5 - Protocolo de negociação e interação entre agentes

O protocolo aqui proposto, Figura 3.5, permite que os agentes operem como clientes e como servidores, conforme o caso - a lógica é por isso a de uma arquitectura orientada a serviços, onde clientes e fornecedores buscam um entendimento que satisfaça a todos os envolvidos no processo negocial.

Entre um agente cliente C e um agente servidor S, as posições de cada um são expressas através de envios de mensagens propostas/contrapropostas $X_{C \leftrightarrow S}^{t_k}$ à contraparte (por exemplo, $X_{C \rightarrow S}^{t_k}$ representa uma solicitação ou proposta do cliente c ao servidor s, e $X_{S \rightarrow C}^{t_{k+1}}$ representa uma contraproposta enviada pelo servidor ao cliente no instante seguinte). Após a recepção de uma proposta, a métrica V (.) permitirá aferir a sua utilidade para o agente.

G (.) será uma métrica de geração das propostas, definida por exemplo, com base nas formulações apresentadas no capítulo anterior (capítulo 3., ver secção 3.3.3)

Com o protocolo apresentado, uma de três situações pode ocorrer:

- Acordo: a negociação termina com um acordo ('Deal');
- Sem acordo: a negociação termina sem um acordo ('No deal');
- Adiamento: adiar o acordo para uma altura mais oportuna ou favorável.

A possibilidade de adiar o acordo é possível se a proposta que num dado momento é inviável (ou não pode ser atendida pelo facto de o agente não estar disponível para negociar) for armazenada numa fila de espera - 'queue', sendo recuperada mais tarde (numa altura mais oportuna) para análise. Naturalmente, as condições do momento em que a proposta for recuperada irão ditar se a solicitação associada pode ou não ser atendida.

Do ponto de vista prático, uma 'fila de espera' levanta algumas questões importantes, como sejam: qual o seu tamanho? Por quanto tempo são armazenados os elementos/propostas? Os recursos disponíveis e o fim ou contexto de utilização são aspectos de que dependem a resposta às questões anteriores.

O papel de cliente ou de servidor definido para o processo negocial irá ditar que mecanismos de avaliação são adoptados pelo agente - pois clientes e servidores terão entendimentos divergentes acerca de uma proposta apresentada/recebida.

No capítulo anterior, além do protocolo, as funções e critérios de avaliação tinham ficado em aberto, pelo que na secção seguinte o assunto será tratado.

3.2.2 MÉTRICAS PARA AVALIAÇÃO DE PROPOSTAS

Como visto anteriormente (capítulo 2, secção 2.3.3), a interpretação acerca da utilidade de uma proposta tem influência directa na decisão do agente. E assim sendo, é indispensável uma avaliação das propostas - calcular a sua utilidade.

Para alguns assuntos, essa avaliação poderá ser positiva, e para outros negativa.

No caso do modelo aqui em foco, cliente e servidor irão avaliar em sentidos opostos os diferentes atributos de uma proposta. Por exemplo, imagine-se uma situação em que em causa está a negociação de uma certa quantidade e o preço a pagar/cobrar por ela. Nesse caso, é natural que para o agente cliente a avaliação seja crescente ('up') para a quantidade, e decrescente ('down') para o preço a pagar - significando que quanto maior a quantidade maior a sua utilidade, e em relação ao preço o contrario. Do lado do servidor acontece justamente o oposto.

As métricas para a avaliação aqui apresentadas terão uma característica linear, como mostra a Figura 3.6, e representam uma possibilidade, entre muitas outras (características exponenciais, logaritmos, ...).

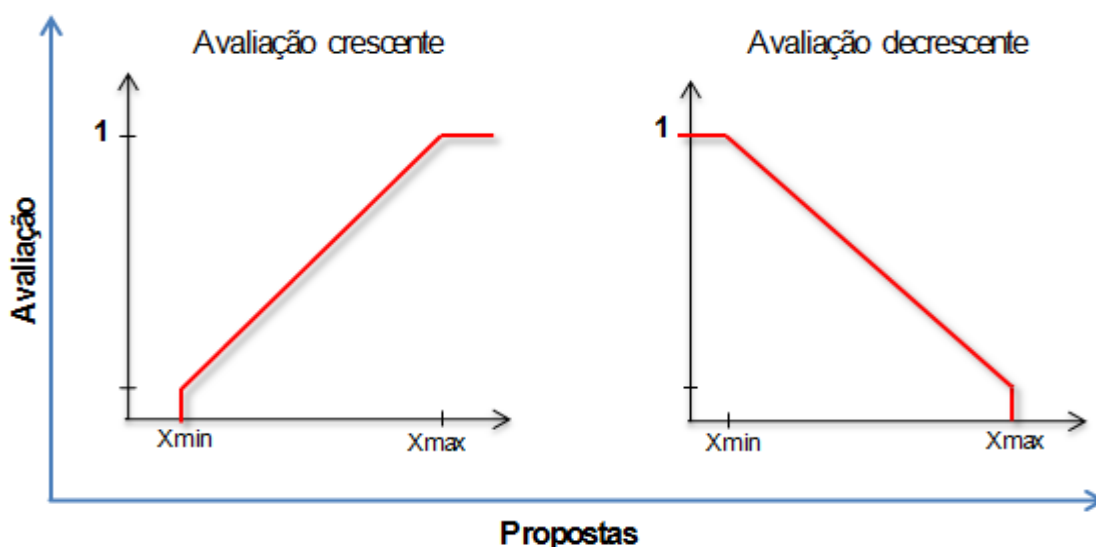


Figura 3.6- Característica de funções de avaliação de propostas

Analiticamente, os dois casos - a função de avaliação crescente e a função de avaliação decrescente, são formulados como se segue, (3.1) e (3.2). U_r representa a avaliação de reserva - para os valores de reserva x_{min} no caso crescente e para x_{max} no decrescente; O valor 1 (um) corresponde a uma avaliação que dá a máxima utilidade (100%).

$$V_{up}^a[x_j] = \begin{cases} 0, & x < x_{min} \\ U_r, & x = x_{min} \\ \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, & x_{min} < x < x_{max} \\ 1, & x \geq x_{max} \end{cases} \quad (3.1)$$

$$V_{down}^a[x_j] = \begin{cases} 0, & x > x_{max} \\ U_r, & x = x_{max} \\ \frac{x_{max} - x}{x_{max} - x_{min}}, & x_{min} < x < x_{max} \\ 1, & x \leq x_{min} \end{cases} \quad (3.2)$$

Utilidade Global U

Quando a negociação é multi-atributos, uma análise global pode garantir maior flexibilidade ao processo - se a avaliação individual de cada assunto for relativizada, para exprimir a sua importância face aos restantes.

Como sugerido anteriormente (capítulo 3, secção 3.3.3), as avaliações individuais serão combinadas para exprimir a avaliação global - a utilidade da proposta como um todo, Figura 3.7 (onde J é o atributo/item a ser avaliado, w a sua importância).

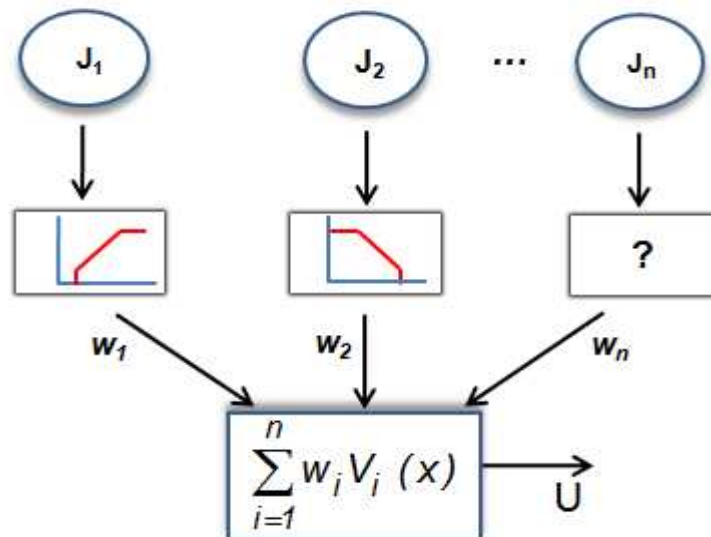


Figura 3.7 - Esquematização do cálculo da utilidade global

O critério da utilidade é proposto para medir o benefício alcançado pelos agentes no processo negocial.

3.2.3 SIGNIFICADO E IMPACTO DO ACORDO PARA O AGENTE

A negociação implica para os seus participantes fazer cedências e concessões que permitem flexibilizar o processo. As concessões podem indicar o quão cooperante um actor é para com a contraparte – pouco ou nada cooperante se conceder pouco ou nada, suficientemente cooperante se ceder numa medida considerada suficiente, e muito cooperante se a concessão for elevada.

Serão aqui definidas noções importantes para o processo negocial: 1) função de concessão; 2) benefício social; 3) grau de cooperação; 4) valor de referência cruzado.

1) *Função de Concessão*

Este parâmetro, independentemente da tática escolhida para a geração de propostas, define o nível ou ritmo de concessão/resistência do negociador relativamente à ronda/instante anterior – na prática representa a variação dos valores. Por exemplo, no caso das táticas formuladas nas equações (3.3) e (3.5): as funções $\alpha_j^a(t)$ e $\gamma_j^a(t) = 1 - \alpha_j^a(t)$ caracterizam o perfil de concessão adoptado pelo agente. Para o modelo negocial explorado neste trabalho seria importante que a concessão reflectisse as reais condições de operação e funcionamento, também de forma dinâmica. Por exemplo, no caso das táticas dependentes do tempo, tal poderá ser conseguido através da definição do parâmetro β como função de variáveis e/ou atributos relevantes para os processos de controlo e de negociação:

$$\beta = f(A), \tag{3.3}$$

onde A é o atributo ou conjunto de atributos considerados relevantes ou os mais relevantes.

Para táticas diferentes da anterior a mesma lógica dinâmica baseada nos parâmetros relevantes poderá ser seguida.

2) *Benefício social*

Medida para avaliar e qualificar o processo negocial. Um benefício social de 100% (ou 1) seria o ideal, mas tal não é possível - o processo negocial implica perdas. Será dado pela soma das utilidades globais individuais de cada negociador. A

diferença para o benefício máximo dará a perda social gerada pelo processo negocial.

3) *Nível ou Grau de Cooperação*

Imagine-se o seguinte cenário negocial entre dois agentes acerca de um determinado assunto, envolvendo dois atributos como sugerem os esquemas seguintes: a) Figura 3.8 e b) Figura 3.9.

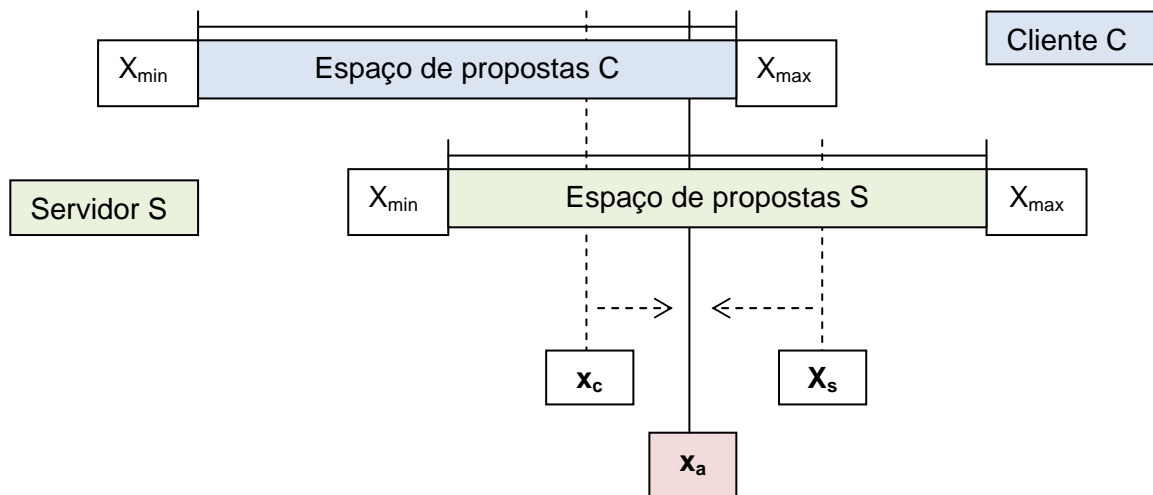


Figura 3.8 – Cenário negocial 1: ilustração do acordo

Este caso representa uma situação em que o cliente tem preferência por valores menores do atributo em negociação. É o que acontece, por exemplo, com o preço p a pagar pelo bem ou serviço solicitado.

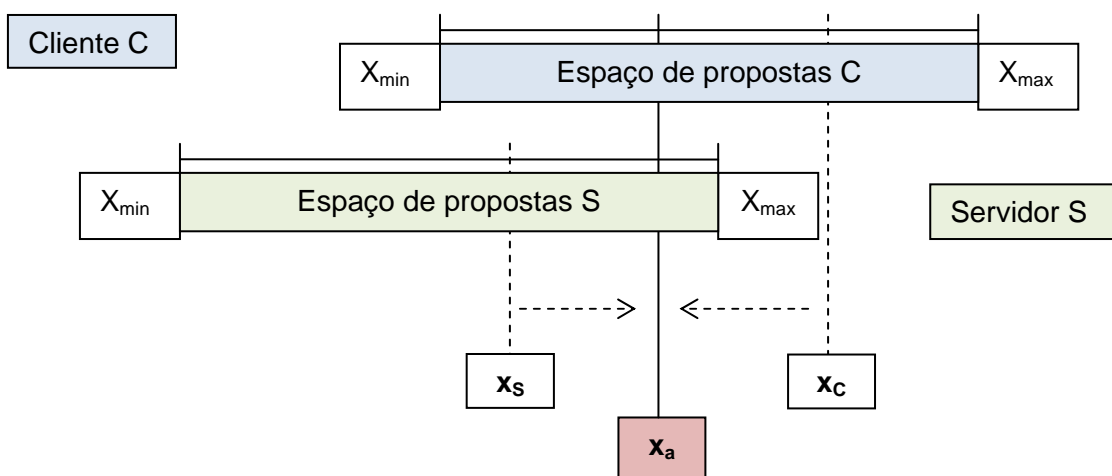


Figura 3.9 – Cenário negocial 2: ilustração do acordo

Contrariamente ao que acontece na situação anterior, neste caso, é o servidor quem dá primazia a valores inferiores do atributo em causa. Note-se que os seus limites máximos e mínimos do espaço de propostas são inferiores aos do cliente - solicitador. Um exemplo típico seria a quantidade q a ceder ou disponibilizar ao cliente pelo servidor.

Em qualquer um dos casos a) ou b), x_c representa o valor da solicitação feita pela entidade representada pelo agente negociador cliente – ou seja, os interesses defendidos pelo agente cliente; x_s corresponde ao valor que representa os interesses defendidos pelo agente servidor; x_a é o valor que representa o compromisso acordado entre as partes, segundo as restrições existentes: limites dos espaços de propostas, a importância atribuída aos diferentes atributos, a janela temporal definida para o processo negocial, etc.

Ora, num cenário onde há interesses divergentes o valor que representa o acordo não terá o mesmo significado e impacto para as partes. Por esse motivo, x_a será tomado como o valor que estabelece o grau de cooperação, sendo uma medida relativa. É que no limite um agente poderá satisfazer a cem por cento (100%) as pretensões do oponente ou negar-se a fazê-lo (0% de cooperação). Deste modo, a concessão feita pode ser medida da seguinte forma:

$$con = \begin{cases} x_c - x_c(\frac{x_a}{100}) & ,se \text{ Cliente} \\ x_s - x_s(\frac{x_a}{100}) & ,se \text{ Servidor} \end{cases} \quad (3.4)$$

4) Valor de Referência Cruzado

O impacto da negociação em x_c e x_s estará dependente do grau de cooperação conseguido pelo acordo. Portanto, o valor x_i' corresponderá ao que de melhor os agentes terão conseguido em favor dos interesses que representam.

$$x_i' = \begin{cases} x_i \pm con_i & ,i = \text{Cliente } c \\ x_i \pm con_i & ,i = \text{Servidor } s \end{cases} \quad (3.5)$$

Se o que estiver em causa for o nível y_i , a referência y_i^* é dada por x_i' . Se for relevante nivelar por baixo a referência (situação em que se privilegia a poupança) a parcela com o sinal “-” é a escolha adequada, e vem:

$$x'_i = \begin{cases} x_c(\frac{x_a}{100}) & , i = \text{Cliente } c \\ x_s(\frac{x_a}{100}) & , i = \text{Servidor } s \end{cases} \quad (3.6)$$

3.3 EMERGÊNCIA DA COORDENAÇÃO GLOBAL NO CANAL

Os agentes negociam disponibilidades futuras, isto é, as necessidades do cliente, para a piscina em causa, dentro de k unidades de tempo – tempo de entrega, de acordo com as restrições existentes, conforme o proposto pelo algoritmo de coordenação de controlo anteriormente apresentado. Por exemplo, seja o seguinte caso: um agente A_1 tem interesse em negociar uma certa quantidade/valor para o nível de referência y^*_1 solicitado pelo cliente da piscina p_1 . O agente A_2 da piscina P_2 , adjacente a P_1 , tem interesse em manter na sua piscina o nível y^*_2 . Os níveis defendidos por cada agente são divergentes entre si, por exemplo $y^*_1 = 6$ (unidades de nível) e $y^*_2 = 10$ (unidades de nível). Não havendo a possibilidade de negociar, os controladores afectos a cada uma das piscinas seguirão as referências (6 e 10) unilateralmente impostas pelos clientes, levando a uma descoordenação no funcionamento do sistema. Para evitar tal situação, os dois agentes poderão negociar os seus interesses, chegando por exemplo, a um acordo que leve a $y^*_1 = 4$ e $y^*_2 = 7$. Agora, imagine-se que um agente A_3 (que representa os interesses da piscina P_3 , imediatamente a seguir a P_2) faz uma solicitação a A_2 para negociarem a referência $y^*_3 = 4$. Nesse caso, o interesse a ser defendido por A_2 será o valor a que está vinculado pela negociação anterior ($y^*_2 = 7$). Desta feita, os dois agentes (A_2 e A_3) negociam podendo chegar a um acordo que resulte em $y^*_2 = 5$ e $y^*_3 = 3$. Assim, para o conjunto das três piscinas, os valores de referência reflectirão os interesses associados a cada uma delas após as duas fases de negociações bilaterais (A_1 versus A_2 ; A_2 versus A_3), significando que globalmente o sistema funciona de forma coordenada – a convergência possível entre os diversos interesses em jogo, irá emergir duma sequência de negociações bilaterais entre os vários actores, cada um deles defendendo o melhor possível os seus interesses, mas sempre na base de decisões concertadas e não unilaterais. Sendo a negociação multi-atributo, além da variável tida como de saída no processo de controlo - nível y nos exemplos atrás apresentados, outras variáveis atributos estarão em jogo. Entre elas, o atributo k –

tempo de entrega deverá fazer parte do conjunto de assuntos em negociação. É que o tempo de atraso associado ao fenómeno/dinâmica de transporte nas piscinas pode ser reflectido no parâmetro k , influenciando a sua definição.

A Figura 3.10 representa os compromissos a cumprir pelos agentes - resultantes da sequência de negociações bilaterais, nos instantes acordados entre as partes. Nesse caso, tem-se que o tempo para efectivar a nova situação saída do acordo encontra-se dividido em períodos – ‘slots’. Por exemplo, um dia é dividido em vinte e quatro períodos de uma hora cada (Kn , $n=1...24$). Um agente, conhecendo as restrições temporais associadas ao seu troço de canal, irá tentar que a sua solicitação seja entregue/cumprida num ‘slot’ o mais adequado possível aos seus interesses. Pode-se fazer a seguinte leitura acerca da agenda abaixo ilustrada: nos ‘slots’ k_2 , k_5 e k_6 , o agente A_2 tem que executar as solicitações representadas pelos volumes correspondentes (e.g. comunicar ao controlador o valor que representa a quantidade acordada com o seu interlocutor para a variável de saída, o nível y^* , se for o caso); e A_3 assumiu um compromisso para o ‘slot’ k_1 . Naturalmente, os interlocutores de cada agente terão de cumprir a sua parte no ‘slot’ acordado.

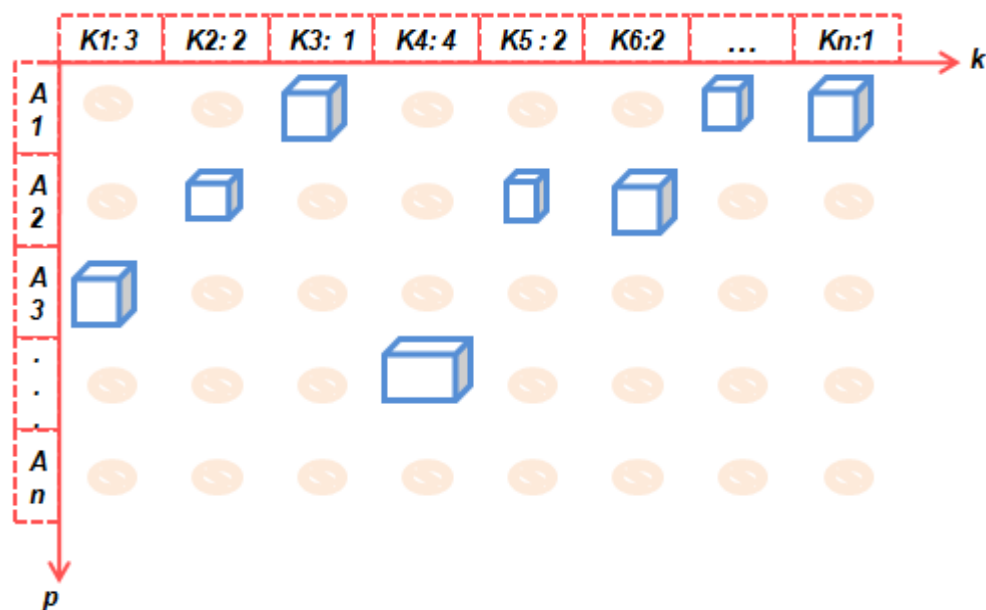


Figura 3.10- Agenda de compromissos dos agentes ao longo tempo

Uma rede de canais será formada por pelo menos dois canais unidos por um nó – a configuração básica mais comum é a de uma topologia em T ou em estrela, como sugere a Figura 3.11. Em cada canal os agentes negociam preferencialmente com os ‘vizinhos’ mais próximos – associados às piscinas adjacentes do canal, independentemente da topologia da rede. Conforme ilustra a Figura 3.11, para os

agentes das piscinas que ficam no nó da rede é possível interagir também com qualquer outro agente que represente uma piscina do seu nó.

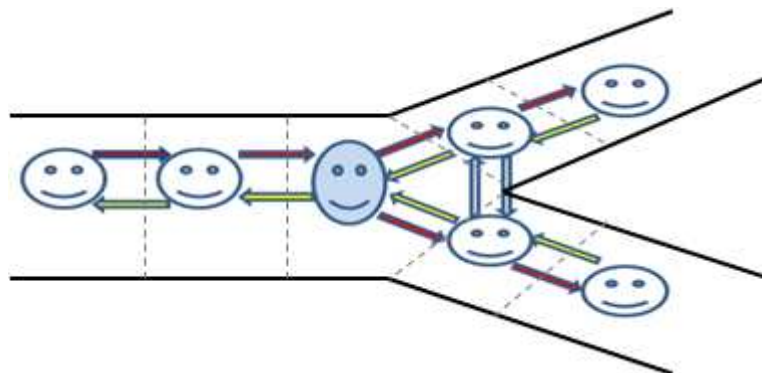


Figura 3.11 – Rede de canais e interação sugerida entre os agentes

3.4 SÍNTESE

Uma abordagem macroscópica foi apresentada, com a proposta de um modelo conceptual para a coordenação do controlo. Essa abordagem macroscópica liberta os controladores de quaisquer tarefas adicionais, eventualmente necessárias, e define um novo nível de abstracção a partir do qual o processo de coordenação é orquestrado. Isto permite que os controladores actuais possam continuar a cumprir as funções que tradicionalmente têm desempenhado.

Concretamente, além da camada dos controladores, o modelo propõe, acima desta, uma camada de agentes inteligentes - o novo nível de abstracção onde os interesses divergentes e unilaterais podem ser aproximados e coordenados, através da negociação entre os agentes, naturalmente. Desta forma, a arquitectura de controlo passa a incorporar um agente inteligente.

Indispensável para o processo de interacção entre os agentes é o protocolo que define o modo como essa interacção e negociação têm lugar. O modelo por detrás do protocolo apresentado é o de negociação bilateral orientado a serviços (como o apresentado no capítulo 2, secção 2.3.3). O protocolo equaciona ainda a possibilidade de adiar uma situação de negociação através de uma fila de espera onde propostas não atendidas ou inviáveis possam permanecer temporariamente até que seja possível ou oportuno negociar.

A utilidade foi apresentada como o critério para a medir a satisfação do agente no processo negocial. Para esse fim foram analisadas e apresentadas métricas para a avaliação das propostas. A combinação linear das avaliações individuais dos diferentes assuntos ou atributos será uma forma de aferir, globalmente, a utilidade das propostas em negociação. Esta abordagem é essencial numa negociação multi-atributo, dado que permite exprimir as preferências das partes envolvidas, e consequentemente uma maior flexibilidade na negociação. Globalmente, a coordenação emerge duma sequência de negociações bilaterais, faseada, onde o posicionamento saído dum processo negocial anterior representa os interesses a defender numa nova situação negocial.

As metodologias aqui apresentadas constituem uma visão, macroscópica, que altera o modo convencional de controlo em sistemas de abastecimento e distribuição de água, onde não obstante os esforços colocados ao nível dos controladores, a garantia de coordenação no controlo é pouca ou até mesmo inexistente.

4. AVALIAÇÃO E ANÁLISE DAS METODOLOGIAS

Neste capítulo pretende-se avaliar o alcance e a validade das ideias e propostas apresentadas. A Análise basear-se-á em resultados de simulações, nomeadamente do processo negocial, e da capacidade de um controlador seguir ou não o valor de referência saído da negociação.

Um sistema simples, baseado na arquitectura de coordenação do controlo proposta foi implementado para o efeito. Esse sistema não será aqui detalhado uma vez que, à partida, não constitui o objectivo primeiro da dissertação, pelo menos numa primeira aproximação como é o caso. Ainda assim, na secção seguinte, alguns aspectos considerados relevantes merecerão referência.

4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE OPÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO DOS AGENTES

A linguagem de programação **Java** foi a opção seguida neste trabalho, em detrimento de uma qualquer plataforma integrada de desenvolvimento de agentes. O paradigma de “Programação Orientada a Objectos POO” oferecido pela ferramenta foi um dos motivos, mas o principal prende-se com o facto de se ter preferido a política de “solução à medida” - por exemplo: o formato e a codificação das mensagens trocadas entre os agentes, as estruturas e mecanismos de comunicação adoptados, etc. Esta opção terá, certamente, as suas vantagens e desvantagens. O Quadro 4.1 resume alguns aspectos das opções de desenvolvimentos de agentes.

	Base e Lógica de Implementação	Flexibilidade	Tempo/Esforço de Desenvolvimento
Opções de Desenvolvimento	Características Comparativas		
Ambientes e Plataformas Integrados	Existência de recursos disponíveis: implementação a partir da reutilização de recursos e funcionalidades existentes	Maior flexibilidade quanto à reutilização de funcionalidades já existentes	Dependente do domínio e conhecimento da ferramenta; Dependente da experiência do programador
Ambientes não Integrados	Implementação a partir do zero: reinvenção da roda	Maior flexibilidade em relação a soluções específicas e à medida	Dependentemente da experiência do programador

Quadro 4.1 - Ambientes de implementação de agentes: opções e características

4.1.1 CARACTERÍSTICAS DA COMUNICAÇÃO

O mecanismo de comunicação adoptado consiste em “*mail boxes*” MBX (caixas de correio) – para onde as mensagens são endereçadas;

A linguagem usada no processo de comunicação entre agentes é específica, sendo por isso alternativa aos padrões conhecidos;

Formato e codificação da mensagem: as mensagens trocadas obedecem à seguinte estrutura:

Msg: [*Conteúdo* | *Informação de controlo*], sendo:

Conteúdo: campo reservado à informação com os valores das ofertas/contra-ofertas (valores dos atributos) - *proposta*: [x_{a1} ; x_{a2} ; ...; x_{an}];

Informação de controlo: [*remetente*; *destinatário*; *tipo* ou *identificador da mensagem*].

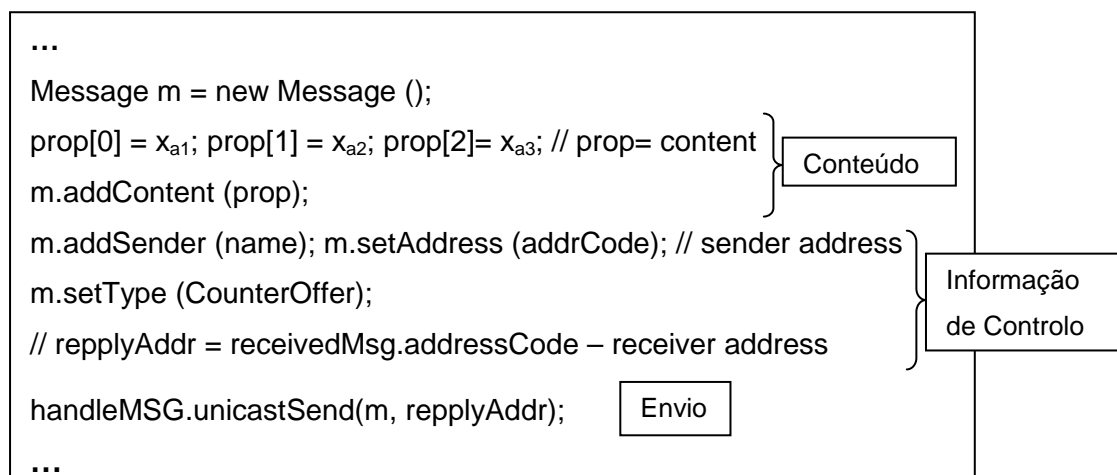
Para efeitos de funcionamento, relativamente aos tipos de mensagens trocadas entre agentes, definiu-se os seguintes:

Tipo	Codificação
Oferta	1
Contra-oferta	2
Acordo	3 ; 4
Recusa	5

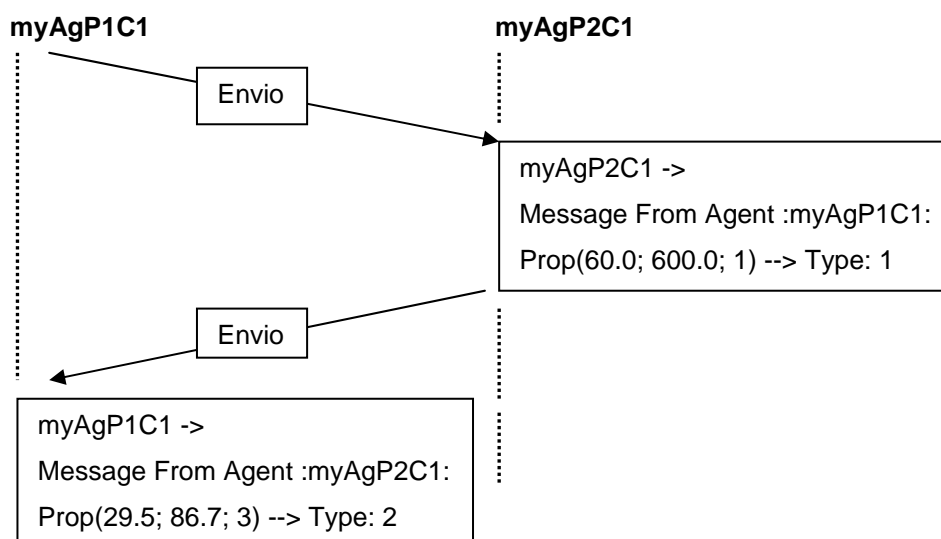
Quadro 4.2 - Tipo de mensagens

Uma mensagem com *tipo* = 3 é enviada por um agente *a* que aceita uma proposta *p* enviada pelo agente *b*. O agente *b* confirma o seu comprometimento através do envio de uma mensagem com *tipo* = 4 ao seu interlocutor. Uma mensagem inicial de *a* para *b*, com *tipo* = 1 corresponde a um pedido ou solicitação de negociação por parte do emissor.

O excerto de código a seguir ilustra a configuração e envio de uma mensagem durante o processo de interação e comunicação – concretamente, uma mensagem enviada em resposta a uma solicitação/mensagem recebida pelo agente.



Na prática, o processo de comunicação entre agentes segue a sequência sugerida pelo esquema seguinte:



O objectivo de qualquer processo de comunicação é a transmissão de dados/informação entre entidades envolvidas. A *informação de controlo* é decisiva - pois é através dela que a coerência, consistência ou veracidade dos dados podem ser asseguradas ou maximizadas. Aqui, essa informação de controlo permitirá que uma mensagem chegue ao destino correcto, e com o significado correcto - é fundamental que o agente saiba distinguir entre uma mensagem referente a um pedido de negociação, a uma oferta/contra-oferta, ou ao desfecho do processo negocial - se a mensagem é sobre um acordo, uma recusa, etc.

4.1.2 PRINCIPAIS ACTIVIDADES DO AGENTE

Acção	Efeitos / Implicações	
Adquirir informações no ambiente/contexto	Percepção, Comunicação, Raciocínio e Decisão, Negociação.	Reacção e Planeamento
Enviar e Receber mensagem		
Gerar proposta		
Avaliar proposta		
Interpretar informação, estados internos, etc		
Negociar		

Quadro 4.3 - Resumo de actividades e acções do agente

Papéis do Agente

Um agente é sempre um potencial cliente ou um servidor. A inversão de papéis é possível no início de cada processo negocial – significando que o tipo de papel adoptado é definido nessa altura.

A informação sobre qual o modo de funcionamento (cliente/servidor) é relevante para escolha da tática adequada ao papel.

Todos os agentes do sistema funcionam em pé de igualdade - têm o mesmo peso e importância, e não conhecem o perfil do seu interlocutor. O perfil de um agente é definido pelas suas preferências, táticas, estratégias, e objectivos que defende.

4.1.3 VISÃO GLOBAL E FUNCIONAL DOS PRINCIPAIS PROCESSOS E ENTIDADES

Além do processo agente, e numa tentativa de simular os restantes módulos da arquitectura proposta, outros processos e entidade relevantes são definidos: Sensor, Actuador, Controlador, e ainda o ambiente ou contexto de operação.

- Processo Sensor - simula um sensor, fornecendo informação relevante ao controlador, e ao agente quando necessário;
- Processo Actuador - simula o papel de um actuador;
- Processo Controlador - simula o funcionamento de um controlador. A lei de controlo define o tipo de controlador. A opção adoptada para a lei de controlo captura o comportamento de um **PI** (**P**roportional - **I**ntegral).
- Ambiente e contexto de operação:

O *ambiente externo* à instalação é mapeado com base em informações com origem numa **Interface Gráfica** IG. Essa interface permite configurar e definir restrições e parâmetros de funcionamento e determinado cenário.

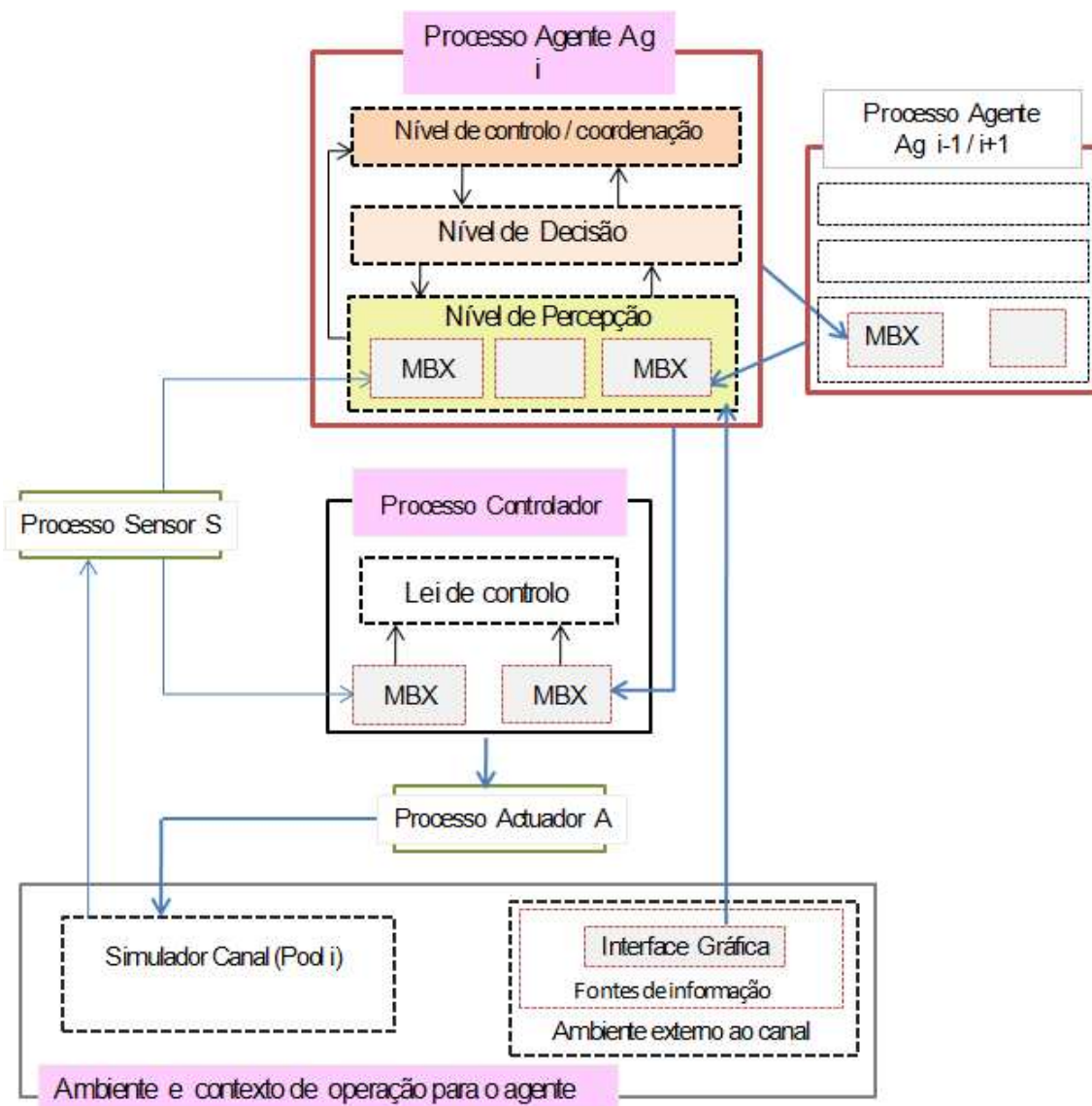


Figura 4.1 - Processos e sua organização para efeitos de simulação

O **Simulador do canal** - contém dois níveis: 1) e 2)

- 1) - Componentes e interface gráficos: com elementos que representam as infra-estruturas do canal (piscinas, comportas, etc); A alteração do estado de uma *comporta*, por exemplo, é fruto da acção directa do *processo actuador* associado ao *controlador* responsável.
- 2) - Dinâmica do processo: recria as características dinâmicas presentes no funcionamento dum canal - fenómenos de transporte, acumulação / desacumulação de volumes (de água), consumos ou perdas laterais nos troços/piscinas.

A validade ou não validade das metodologias de coordenação apresentadas nesta dissertação é independente do grau de sucesso conseguido na implementação de 2). Isto porque o efeito da dinâmica é alterar a situação ou variáveis (por exemplo, volume/nível de água, caudais) nas piscinas.

Ora, a informação que representa o contexto do ambiente numa piscina pode ser imposta em cada momento para efeitos de simulação da arquitectura de coordenação.

4.1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações apresentadas nesta secção têm os seguintes objectivos:

- 1- Apresentar as opções relevantes adoptadas na implementação da arquitectura de coordenação proposta, com especial foco nos ‘aspectos-chave’ relacionados com agentes;
- 2- Sendo as opções tomadas apenas uma possibilidade/sugestão, deixar uma base de partida para as questionar, ponderar alternativas, etc - por exemplo em desenvolvimentos futuros relacionados com a implementação das metodologias defendidas no presente trabalho num sistema real ou até mesmo no desenvolvimento de um simulador robusto e mais realista.

4.2 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

4.2.1 CENÁRIO, HIPÓTESES E CONFIGURAÇÕES DO MODELO NEGOCIAL

Para o processo negocial é definido um cenário tipo com o objectivo de capturar comportamentos plausíveis numa situação real; e levantadas hipóteses sobre o que poderá acontecer ao processo de controlo - funcionamento do sistema, antes e depois do processo negocial. Essas hipóteses irão nortear os testes - simulações e/ou observações a efectuar, e consequentemente as conclusões a tirar acerca das metodologias.

Cenário:

Os agentes cliente e servidor, com interesses opostos, pois representam entidades com interesses divergentes, supervisionam o controlador respectivo responsável

pelo controlo dum troço ou piscina dum canal – as piscinas são adjacentes, com características e dinâmicas já referidas anteriormente.

Os agentes têm a capacidade de negociar, e fazem-no com base nas restrições e limitações existentes. A negociação é bilateral, podendo envolver mais do que um assunto/atributos. Para diferentes assuntos em negociação, os agentes podem exprimir as suas preferências através da importância que atribuem aos mesmos.

O processo negocial não é infinito – isto é, há uma duração máxima fixado para cada agente negociar – número máximo de rondas negociais r (inteiro). Em cada ronda, as partes apresentam e analisam propostas. As partes não têm, à partida conhecimentos prévios acerca do perfil do oponente, nem gozam de quaisquer vantagens ou privilégios.

Atributos

Em jogo está a definição de valores de variáveis tidas como de referência no processo de controlo de um sistema. Por exemplo, no sistema em foco neste trabalho, definir-se-á o atributo quantidade q relativo a uma possível variável de saída – o nível n , o caudal c ou a abertura h de uma comporta. Além de q , define-se outros dois atributos: o preço p a pagar/cobrar por q ou pelo serviço, e um parâmetro associado ao tempo para a efectivação da solicitação – o período/prazo de entrega k . As unidades associadas aos atributos serão: **q [unidades da variável de saída]; - p [unidades monetária] – Euros, p.e; e k [unidades de tempo] – horas, p. exemplo.**

Hipóteses

H₁: As metodologias apresentadas permitem capturar o comportamento ou perfil de cliente e/ou fornecedor numa situação de interesses opostos, e

a) o critério da utilidade global e o espaço de propostas multi-atributo podem garantir flexibilidade ao processo negocial.

b) solicitações irrealistas promovem a diminuição do grau de cooperação e as mais realistas podem promover o seu aumento.

H₂: Na ‘posse’ de um valor de referência “cruzada” que represente um compromisso entre as partes envolvidas, os controladores seguirão a referência. Globalmente, uma sequência de negociações bilaterais parciais faz emergir a coordenação no funcionamento do sistema.

Configurações do Modelo Negocial

No geral, o modelo negocial empregue na simulação está de acordo com o que foi apresentado anteriormente. Contudo, foram tomadas e definidas algumas opções que caracterizam o seu comportamento:

Táticas e Estratégias

São dependentes do tempo, com diferentes parametrizações para a geração do valor das propostas dos vários atributos definidas como se segue:

k : comportamento linear de acordo com a métrica (2.3), e (2.4) com $\frac{1}{\beta} = 1$ e $k_j^a = 0$;

q : definido também de acordo com (2.3) e (2.4) mas com $\beta = \beta_x = Q_i' / Q_{imax}$ e i é um cliente ou servidor. Q_i' corresponde ao valor a ser defendido pelo agente. Isto significa que o comportamento linear, conciliatório ou resistente está dependente dos interesses dos envolvidos em cada momento. É natural que um agente que faça uma solicitação (sobre q) cujo valor é pouco significativo queira defender até ao limite o seu ponto de vista, sobretudo quando julga que o que pede tem pouco impacto negativo na contra-parte.

A estratégia busca da lógica 'win-win', sendo a cooperação um objectivo importante. O atributo p é estabelecido como se segue:

$$p_x = \begin{cases} P_i(1 + q_i / Q_{xmax}) , x = \text{servidor } s \\ P_i(1 - q_i / Q_{xmax}) , x = \text{cliente } c \end{cases} \quad (4.1)$$

P_i é o preço que representa a intenção que melhor serve os interesses do agente no momento, e q_i a quantidade a propor à contra-parte. Esses dois valores são encontrados como referido ainda há pouco, com diferença apenas no valor de β no

caso de P_i - é que para efeitos práticos $\frac{1}{\beta} = 1.5$, o valor encontrado foi obtido com

base num processo de sintonização – tentativa e erro para verificação dum valor que conduzisse a resultados aceitáveis, do ponto de vista da convergência/cedência.

As utilidades de reserva foram aleatoriamente fixadas em 0.3 para todos participantes do processo negocial – para uma utilidade máxima de $U=1$, 0.3

representa um valor aceitável para a utilidade de reserva u_r . Para a simulação, esse valor não é decisivo para a possibilidade de haver ou não o acordo.

O tempo envolvido no processo de simulação é discreto, e considera-se que todos os participantes na negociação têm disponível o mesmo limite de tempo para chegar a um acordo.

Por simplificação, uma solicitação origina um novo processo negocial e é identificada pelo primeiro contacto estabelecido. Uma solicitação é irrealista (do ponto de vista do servidor) se estiver fora da zona de conforto do espaço de propostas, sendo maior ou menor, conforme o caso, que o valor de reserva definido para o atributo em causa.

4.2.2 SIMULAÇÃO: CONFIGURAÇÃO E PARAMETRIZAÇÃO DE TESTES

Tendo em conta o cenário genérico atrás definido, e as hipóteses levantadas, realizou-se três conjuntos de testes com os seguintes objectivos:

- 1- Verificar genericamente, o comportamento do processo negocial proposto; e em que medida o modelo negocial captura comportamentos e situações específicas, plausíveis dum cenário real, como as sugeridas pelas hipóteses levantadas em **H1**;
- 2- **Verificar, globalmente, a emergência da coordenação no funcionamento do sistema, para uma sequência de negociações bilaterais**

Contextualização das experiências

A negociação bilateral foi proposta como mecanismo para aproximar os interesses divergentes nas diferentes piscinas do canal. Por esse motivo, são apresentados dois grupos de experiências ou testes. O primeiro grupo de testes (Testes A e Testes B) é referente ao modelo negocial proposto – e pretende-se verificar o seu alcance. Os quadros seguintes apresentam os valores usados para as simulações das situações definidas, e o resumo dos resultados das experiências. Seguidamente (depois da apresentação e análise do resultados dos testes A e B) é apresentada uma experiência cujo objectivo é ilustrar a coordenação conseguida a partir duma sequência de negociações bilaterais.

Conjunto de Testes A: Objectivo - verificar a influência do número de atributos envolvidos no processo negocial (importância da negociação multi-atributos) em três situações: Teste A1: um atributo; Teste A2: dois atributos; Teste A3: três atributos.

Configuração e Parametrização

O Quadro 4.4 contém a parametrização do cenário negocial entre um agente cliente e um servidor para as três situações A1, A2 e A3 (estão listados os valores dos atributos, as preferências dos agentes por cada atributo em jogo, os valores q que representam os interesses de cada agente, informação sobre a tática negocial, e o tempo máximo disponível para negociar).

Teste A1					
Agente Cliente			Agente Servidor		
Configuração do contexto negocial					
Atributos: Espaço de propostas			Atributos: Espaço de propostas		
Q: [40;100]	P: -	K: -	Q: [10;70]	P: -	K: -
Preferências					
w _Q = 1	w _P = 0.0	w _K = 0.0	w _Q = 0.1	w _P = 0.0	w _K = 0.0
Interesse a defender: Solicitação			Interesse a defender		
q = 60			q = 40		
Teste A2					
Atributos: Espaço de propostas			Atributos: Espaço de propostas		
Q: [40;100]	P: [10;70]	K: [1;10]	Q: [10;70]	P: [50;100]	K: [5;15]
Preferências					
w _Q = 0.6	w _P = 0.4	w _K = 0.0	w _Q = 0.4	w _P = 0.6	w _P = 0.0
Interesse a defender: Solicitação			Interesse a defender		
q = 60			q = 40		
Teste A3					
Atributos: Espaço de propostas			Atributos: Espaço de propostas		
Q: [40;100]	P: [10;70]	K: [1;10]	Q: [10;70]	P: [50;100]	K: [5;15]
Preferências					
w _Q = 0.5	w _P = 0.2	w _K = 0.3	w _Q = 0.2	w _P = 0.6	w _P = 0.2
Interesse a defender: Solicitação			Interesse a defender		
q = 60			q = 40		
Tática: dependente do tempo: janela de tempo: rondas = 10 + 1 = 11					

Quadro 4.4 – Parametrização e configuração do Conjunto de Testes A

Conjunto de Testes B: Objectivo: Verificar de que modo o valor os diferentes interesses divergentes influencia o desfecho do processo negocial, nas seguintes situações: B1- solicitação do cliente igual ao valor defendido pelo servidor; B2- solicitação do cliente superior ao interesse do servidor, e B3 – o oposto de B2).

Configuração e Parametrização

O Quadro 4.5 apresenta os valores dos parâmetros usados para testar cada uma das três situações anteriores (B1, B2 e B3). Os parâmetros listados têm o mesmo significado que nos testes A.

Teste B1					
Agente Cliente			Agente Servidor		
Configuração do contexto negocial					
Atributos: Espaço de propostas			Atributos: Espaço de propostas		
Q: [40;100]	P: [10;70]	K: [1;10]	Q: [10;70]	P: [50;100]	K: [5;15]
Preferências					
w _Q = 0.5	w _P = 0.2	w _K = 0.3	w _Q = 0.2	w _P = 0.6	w _K = 0.2
Interesse a defender: Solicitação			Interesse a defender		
q = 50			q = 50		
Teste B2					
Atributos: Espaço de propostas			Atributos: Espaço de propostas		
Q: [40;100]	P: [10;70]	K: [1;10]	Q: [10;70]	P: [50;100]	K: [5;15]
Preferências					
w _Q = 0.5	w _P = 0.2	w _K = 0.3	w _Q = 0.2	w _P = 0.6	w _P = 0.2
Interesse a defender: Solicitação			Interesse a defender		
q = 80			q = 20		
Teste B3					
Atributos: Espaço de propostas			Atributos: Espaço de propostas		
Q: [40;100]	P: [10;70]	K: [1;10]	Q: [10;70]	P: [50;100]	K: [5;15]
Preferências					
w _Q = 0.5	w _P = 0.2	w _K = 0.3	w _Q = 0.2	w _P = 0.6	w _P = 0.2
Interesse a defender: Solicitação			Interesse a defender		
q = 40			q = 100		
Tática: dependente do tempo: janela de tempo: rondas = 10 + 1 = 11					

Quadro 4.5 – Parametrização e configuração do Conjunto de Testes B

4.2.3 SIMULAÇÃO: RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Resultados Teste A1					
Agente Cliente			Agente Servidor		
Valor final de cada atributo após negociação					
Q = 50.8	P = –	K = –	Q = 50.8	P= –	K = –
Utilidade Global U= 0.18			Utilidade Global U= 0.032		
Grau de Cooperação e Acordo (%) = 50.8			Grau de Cooperação e Acordo (%) = 50.8		
Concessão = 29.32			Concessão =19.7		
Valor de referência resultante: q* = 30.5			Valor de referência resultante: q* = 20.3		
Resultados Teste A2					
Agente Cliente			Agente Servidor		
Valor final de cada atributo após negociação					
Q = 67.0	P = 75.8	K = –	Q = 67.0	P= 75.8	K = –
Utilidade Global U= 0.27			Utilidade Global U= 0.33		
Grau de Cooperação e Acordo (%) = 67			Grau de Cooperação e Acordo (%) = 67		
Concessão = 20			Concessão = 13		
Valor de referência resultante: q* = 40			Valor de referência resultante: q* = 27		
Resultados Teste A3					
Agente Cliente			Agente Servidor		
Valor final de cada atributo após negociação					
Q = 74.2	P = 65.5	K = 6.4	Q = 74.2	P= 65.5	K = 6.4
Utilidade Global U= 0.42			Utilidade Global U= 0.21		
Grau de Cooperação e Acordo (%) = 74.2			Grau de Cooperação e Acordo (%) = 74.2		
Concessão = 15.6			Concessão = 30.32		
Valor de referência resultante: q* = 44.4			Valor de referência resultante: q* = 29.7		

Quadro 4.6 - Resultados do Conjunto de Testes A

A análise aos resultados do teste A1 sugere que um único atributo promove a resistência à cooperação, sobretudo quando as preferências das partes são antagônicas. Reduz grandemente a utilidade possível para as partes, e no caso concreto, só a natureza cooperante dos envolvidos evita um desfecho negativo – recusa. A entrada em cena de mais um atributo em A2 mostra uma melhoria que é claramente reforçada e confirmada com os resultados de A3 – portanto, as partes ganham em ceder onde pouco lhes interessa.

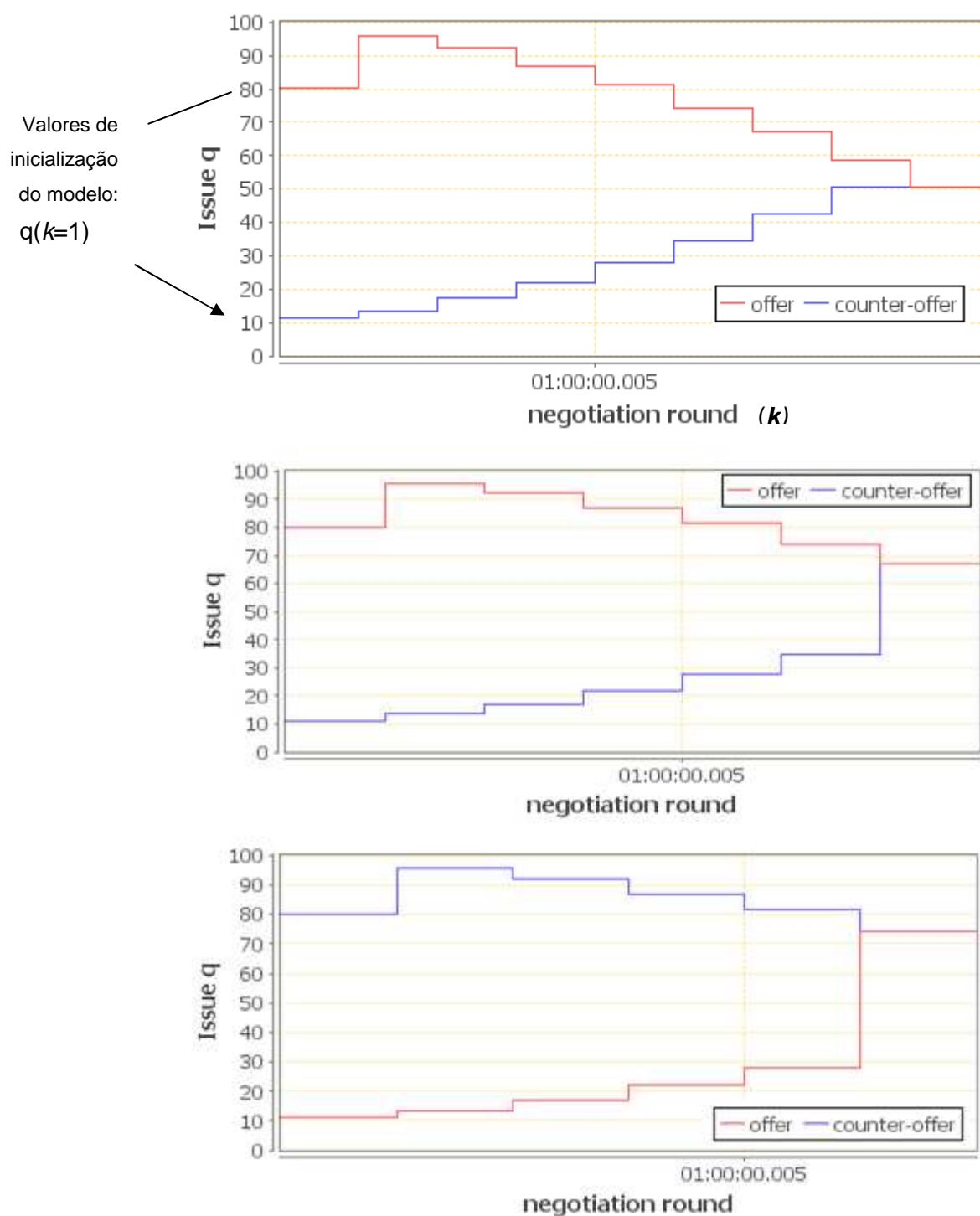


Figura 4.2 – Evolução comparativa do processo negocial para os testes A (A1 vs A2 vs A3)

De uma forma mais intuitiva, a Figura 4.2 permite observar a evolução do processo e nota-se que o número de rondas negociais para o acordo diminui de A1 para A3 e o valor do acordo (relevante para a coordenação) aumenta. Estes e outros gráficos que fornecem informação sobre a evolução da negociação (propostas, utilidades) podem ser consultados em secção reservada aos anexos deste documento.

Resultados Teste B1					
Agente Cliente			Agente Servidor		
Valor final de cada atributo após negociação					
Q = 78.4	P = 67.1	K = 6.4	Q = 78.4	P= 67.1	K = 6.4
Utilidade Global U= 0.45			Utilidade Global U= 0.23		
Grau de Cooperação e Acordo (%) = 78.4			Grau de Cooperação e Acordo (%) = 78.4		
Concessão = 10.8			Concessão = 10.8		
Valor de referência resultante: $q^{\star} = 39.2$			Valor de referência resultante: $q^{\star} = 39.2$		
Resultados Teste B2					
Agente Cliente			Agente Servidor		
Valor final de cada atributo após negociação					
Q = 61.6	P = 73.4	K = 7.3	Q = 61.6	P= 73.4	K = 7.3
Utilidade Global U= 0.27			Utilidade Global U= 0.36		
Grau de Cooperação e Acordo (%) = 61.6			Grau de Cooperação e Acordo (%) = 61.6		
Concessão = 30.7			Concessão = 7.7		
Valor de referência resultante: $q^{\star} = 49.3$			Valor de referência resultante: $q^{\star} = 12.3$		
Resultados Teste B3					
Agente Cliente			Agente Servidor		
Valor final de cada atributo após negociação					
Q = 83.2	P = 68.9	K = 6.4	Q = 83.2	P= 68.9	K = 6.4
Utilidade Global U= 0.48			Utilidade Global U= 0.26		
Grau de Cooperação e Acordo (%) = 83.2			Grau de Cooperação e Acordo (%) = 83.2		
Concessão = 49.9			Concessão = 16.8		
Valor de referência resultante: $q^{\star} = 33.3$			Valor de referência resultante: $q^{\star} = 83.2$		

Quadro 4.7 – Resultados do Conjunto de Testes B

Os resultados deste conjunto de testes apontam, cada um deles, nas seguintes direcções: 1 - num contexto de interdependências e interesses divergentes, a razoabilidade leva a resultados aceitáveis ou mesmo bons para a situação. É o que sugere os resultados de B1. O teste simula uma situação onde os interesses de cada parte são equivalentes – por isso não surpreenderia que houvesse um resultado menos bom para ambos os lados se a solicitação feita fosse demasiado irrealista para os interesses do oponente e exagerada segundo os seus limites e restrições. Ora, na situação descrita por B2, há um relativo exagero na solicitação do cliente que está para lá da zona de conforto do servidor, 2-. Há um consequente impacto negativo notado pela menor utilidade alcançada pelo cliente relativamente

ao caso de B1. E é de supor que as perdas só não maiores pelo facto de o servidor ter considerável margem de manobra, já que o interesse que defende é pouco exigente. 3 - Em B3 acontece o oposto de B2, daí os resultados significativamente melhores que no caso anterior, reforçando a ideia de que pedidos pouco conflitantes com os interesses da contraparte favorecem os resultados globais alcançados pelas partes.

Experiência 2: Ilustração da coordenação global

Para um troço de canal com três piscinas (P1,P2 e P3), cada agente tentará defender os níveis referência y^* (os valores usados podem ser considerados fictícios ou serem vistos como percentagens do nível máximo em cada piscina) a comunicar aos controladores supervisionados. Primeiro os agentes A_1 e A_2 negociam entre eles. Depois A_3 e A_2 . Os interesses iniciais de cada agente são: $y_1 = 100$, $y_2 = 40$ e o melhor para A_3 é $y_3 = 50$. A configuração do processo negocial é idêntica à do conjunto de testes B.

Após a negociação, a nova situação resultante do acordo entre A_1 e A_2 é a seguinte: $y_1^* = 48$ e $y_2^* = 34$. Sendo o acordo fechado para o instante ('slot') $k = 5$, a partir desse instante os dois agentes comunicarão os novos valores das referências aos seus controladores, ficando vinculados aos mesmos até que haja uma nova negociação em que participem e resulte em acordo.

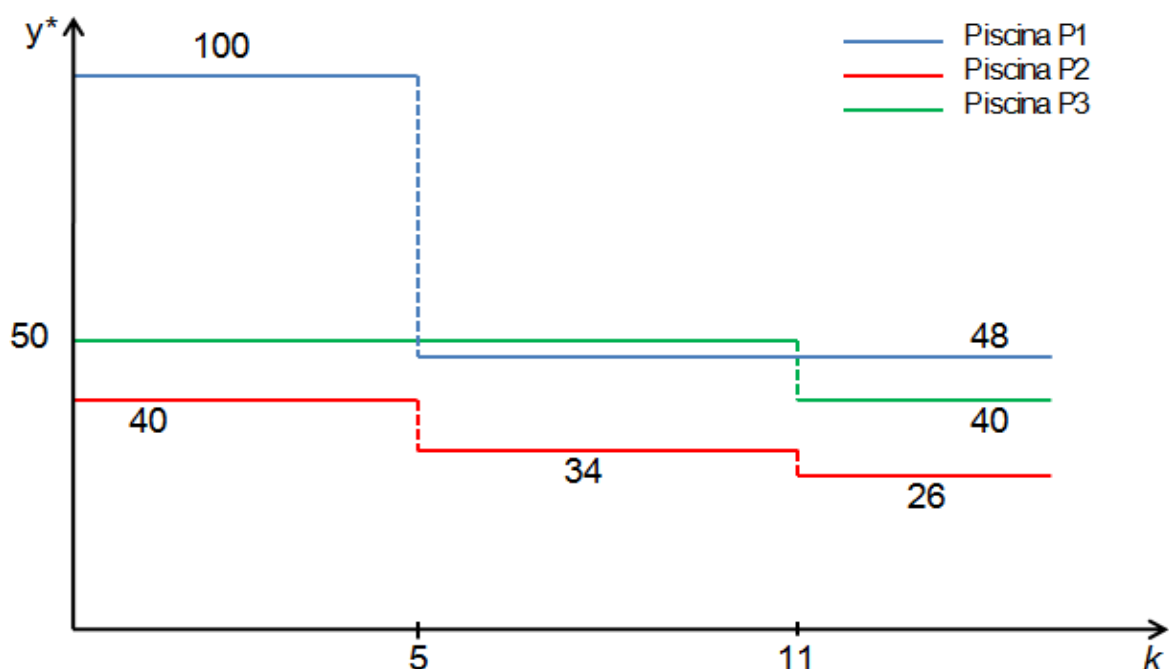


Figura 4.3 – Ilustração da coordenação global

Para o novo processo negocial entre A_2 e A_3 , os valores em jogo são: $y_2 = 34$ (último acordo) e $y_3 = 50$. Os agentes alcançam um acordo que resulta em $y_2^* = 26$ e $y_3^* = 40$. Sendo o acordo relativo ao instante $k = 11$, a nova situação será concretizada nesse instante, levando a uma alteração nas referências seguidas pelos respectivos controladores. Não havendo mais qualquer alteração, esta última situação irá manter-se, ficando o sistema a laborar com $y_1^* = 48$, $y_2^* = 26$, $y_3^* = 40$. Esses serão os valores que melhor servem os interesses do conjunto dos três agentes.

Na Figura 4.2, pode-se notar o antes ($k < 5$) e o pós negocial ($k \geq 5$), e qual o efeito das duas fases negociais no funcionamento global do sistema. A negociação promove a convergência (possível) entre os interesses em jogo nas diferentes piscinas.

4.3 SÍNTESE E DISCUSSÃO

A arquitectura de coordenação apresentada tem nos agentes o seu ponto fundamental, pelas razões já conhecidas e analisadas. Sem a capacidade de negociação dos agentes, é válido afirmar que essa arquitectura não responde ao problema essencial, e consequentemente deixa de ter qualquer utilidade. E isto porque os controladores locais continuariam a desempenhar unilateralmente o seu papel. A conclusão óbvia é que a validade do modelo e arquitectura propostos para a coordenação do controlo descentralizado tem, irremediavelmente, a sua validade dependente da capacidade negocial conferida ao agente. E claro, a própria capacidade negocial estará dependente das metodologias e opções adoptadas, o grau de sucesso na sua implementação, entre outros aspectos. Portanto, se o processo negocial tiver um desempenho aceitável é também válido afirmar que as metodologias e opções que estejam na sua génese têm algum crédito e validade.

Recuperando os resultados de simulação do processo negocial, e tendo em conta as hipóteses inicialmente levantadas, ideias mais concretas acerca do alcance das metodologias seguidas e propostas podem ser analisadas com mais profundidade. Os testes e simulações efectuados pretendiam capturar situações plausíveis num contexto negocial, especialmente os marcados por interesses divergentes. Quanto à validade do modelo de negociação com um espaço de propostas multi-atributos levantada por $H_1: a)$, os resultados do conjunto de testes **A** corroboram o -

efeito positivo que vários atributos têm na flexibilização do processo negocial. Pode-se, portanto, concluir que o modelo de negociação orientado a serviços tem utilidade para o fim que é proposto.

Por seu turno, os resultados do conjunto de testes **B** permitem sustentar positivamente as hipóteses levantadas em **H₁: c)**. Os resultados do conjunto de testes **C** apontam num sentido que contraria a ideia expressa por **H₁: b)**.

De acordo com as indicações e conclusões sugeridas por **H₁** as metodologias apresentadas ou propostas para dotar os agentes de capacidade negocial permitem capturar diferentes comportamentos possíveis num cenário negocial caracterizado por interesses divergentes. Relativamente à hipótese de um controlador seguir ou não um valor referência resultante do processo negocial, a si comunicado pelo agente supervisor, como levantada por **H₂**, a observação do funcionamento do sistema permite assinalar o seguinte: o controlador segue o valor de referência. Os resultados da experiência 2 sugerem que, ao nível global, os diferentes interesses podem ser aproximados e conjugados com base numa sequência de negociações bilaterais. Contudo, futuramente, mais esforços deverão ser dedicados à questão da eficiência na gestão do canal – incorporar esse elemento no processo de decisão dos agentes.

4.3.1 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este capítulo foi dedicado à avaliação e análise das metodologias apresentadas nesta dissertação. Desde simples considerações sobre as opções de implementação de sistemas Multi-Agentes, informações sobre o que foi a implementação conseguida, passando pela simulação e análise dos resultados do processo negocial.

Como se sabe, a negociação tem associada ganhos e perdas – ela será positiva quando o ‘bem-estar’ global gerado pelo processo for satisfatório, isto é: quando no final do processo negocial, as partes envolvidas ‘ficam melhor’ do que se não participassem dele. Os modelos negociais serão tanto mais eficientes quanto mais minimizarem as perdas globais resultantes da sua aplicabilidade.

Os resultados obtidos mostram a validade das ideias e metodologias apresentadas. Por esse motivo, acerca da arquitectura de coordenação do controlo apresentada pode-se afirmar que é realista e com aplicabilidade.

5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES PRINCIPAIS

Nesta dissertação, o tema da coordenação do controlo descentralizado é abordado sob uma perspectiva macroscópica. Concretamente, analisa-se o caso do controlo exercido por controladores locais, de forma descoordenada em sistemas distribuídos como os canais de distribuição de água por acção da gravidade – o cenário (ver os contornos do problema na secção 1.2). O conceito de agentes inteligentes é explorado enquanto tecnologia para a solução do problema. A solução proposta define um modelo conceptual, a arquitectura e metodologias de coordenação onde os agentes supervisionam os controladores locais (ver o modelo e a arquitectura apresentados na secção 3.1).

Os canais são marcados por fortes não linearidades, pelo fenómeno de transporte, constituindo-se como um conjunto de subsistemas em cascata, com fortes interdependências entre si – são por isso um sistema complexo cujas estruturas de controlo surgem geograficamente dispersas ao longo do seu comprimento. Tais características sugerem o uso da tecnologia dos agentes.

Para a arquitectura e metodologias de coordenação apresentadas, os agentes têm um papel fundamental – negociar os interesses em jogo. Assim, o tema da negociação torna-se relevante, pois a validade e utilidade das mesmas estarão dependentes da capacidade/faculdade de negociação.

Em processos de decisão automáticos, a negociação pode ser adoptada como mecanismo de suporte à decisão.

Ainda sobre negociação e situações de conflito ou interesses divergentes – as posições divergentes podem ser conciliadas ou aproximadas com base na negociação. E nesse caso, um espaço negocial multi-atributo (mais de um assunto em discussão – em número adequado) é tendencialmente mais flexível.

A tecnologia dos agentes e Sistemas Multi-Agentes SMA têm, realmente, um vasto campo de aplicações – esta é, de resto, uma confirmação.

Os resultados das simulações mostram que as metodologias adoptadas e propostas permitem capturar e modelar, de forma aceitável, comportamentos plausíveis num cenário negocial com interesses divergentes. Com efeito, pode-se concluir que têm aplicabilidade, são realistas e independentes do nível de detalhe dos controladores.

Pode-se ainda concluir que, com as devidas adaptações e ressalvas, o modelo negocial proposto (a sua aplicabilidade) pode ser extrapolado para outras situações que não sejam apenas o caso do cenário estudado nesta dissertação.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

As metodologias apresentadas nesta dissertação representam um passo para solução ou resolução do problema apresentado. Nessa medida, foram tomadas opções que futuramente poderão ser passíveis de melhorias, por exemplo:

no que diz respeito ao processo negocial – não se implementou a possibilidade de o agente não cumprir um acordo firmado ou desvincular-se do compromisso assumido em determinado momento. Esta possibilidade poderá estar associada a um custo/penalização, cujo valor é necessário calcular;

enquadrar melhor a questão da dinâmica de transporte no processo de decisão dos agentes – isso poderá levar a uma maior eficiência na coordenação global: foi sugerido e proposto que o tempo de atraso característico do fenómeno de transporte fosse reflectido no tempo de entrega - apresentado como um dos atributos espaço negocial. Essa possibilidade deverá ser aprofundada.

Neste trabalho, o foco foi colocado, sobretudo, ao nível dos agentes – metodologias de comunicação, protocolos de interacção e negociação, modelo negocial e suas características, nas metodologias de coordenação do controlo, e na simulação do processo negocial. Por esse motivo, futuramente, mais atenção poderá ser dedicada ao desenho de um simulador do sistema de canal/piscinas, que inclua uma dinâmica realista dos seus fenómenos físicos característicos.

Noção e Conceito de Sistemas

[Bertalanffy 1969] – Ludwig V. Bertalanffy, "General System Theory: Foundations, Development, Applications". Revised Edition, George Braziller Inc, 1969.

[Dic. LP] – "Dicionário Universal Língua Portuguesa", Texto Editora (editora), Pg. 1366.

[Fishwick 1996] – Paul A. Fishwick, Kangsun Lee, "Two Methods for Exploiting Abstraction in Systems". AI, Simulation and Planning in High Autonomous Systems, pages 257--264, 1996.

[Lourtier 2002] – Isabel Lourtier, "Sinais e Sistemas", Escolar Editora (editora), Pg. 26, 2002.

[System]- *System Theory - Data Handling in Science and Technology, Volume 3, 1987, Pages 1-19.*

Canais de Irrigação

[Clemmens 2004] – A. J. Clemmens, and B. T. Wahlin, "Simple Optimal Downstream Feedback Canal Controllers: ASCE Test Case Results", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 130, Nº.1, January/February, 2004.

[Fromion 2004] – X. Litrico, V. Fromion, "Simplified Model of Irrigation Canal for Controller Design", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 130, Nº. 5, October 1, 2004.

[Litrico 2006] – X. Litrico, V. Fromion and J. –P. Baume, "Tuning of Robust Distant Downstream PI Controllers for an Irrigation Canal Pool. II: Implementation Issues", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2006.

[Litrico 2005] – X. Litrico, V. Fromion, "Design of Structured Multivariable Controllers for Irrigation Canal", *Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference 2005, Seville, Spain, December 12-15, 2005.*

[Litrico 2004] – X. Litrico, V. Fromion, “Analytical approximation of open-channel flow for controller design”, *Applied Mathematical Modelling* 28 (2004) 677–695, 2004.

[Liu 1994] – Fubo Liu, Jan Feyen, and Jean Berlamont, “Downstream Control Algorithm for Irrigation Canals”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 120, No. 3, Paper N^o. 5186, May/June, 1994.

[Reddy 1999] – J. M. Reddy, Raymond G. Jacquot, “Stochastic Optimal and Suboptimal Control of Irrigation Canals”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 125, N^o. 6, November/December, 1999.

[Schuermans 1999] – J. Schuermans, A. Hof, S. Dijkstra, O. H. Bosgra, and R. Brouwer, “Simpler Water Level Controller for Irrigation and Drainage Canals”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 124, N^o. 4, Paper N^o 16854, July/August, 1999.

[Swamee 1995] – Prabhata K. Swamee, “Optimal Irrigation Canal Section”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 121, N^o. 6, November/December, 1995.

[Wahlin 2006] – Brian T. Wahlin, Albert J. Clemmens, “Automatic Downstream Water-Level Feedback Control of Branching Canal Networks: Theory”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 132, No. 3, May/June, 2006.

Agentes e Negociação

[An 2008] – Bo An, Victor Lesser, Kwang Mong Sim, “Decommitment in Multi-resource Negotiation”, Proc. of 7th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2008), Padgham, Parkes, Müller and Parsons (eds.), May, 12-16., 2008, Estoril, Portugal, pp.1553-1556, 2008.

[Costa Fonseca 2003] – Luís Carlos Costa Fonseca, “Sistema Multiagentes Para Negociação no Ambiente ICS de Comércio Eletrônico” – *Dissertação de Mestrado*, São Luís (Brasil), 2003.

[Faratin 2002] – Peyman Faratin, Bartel Van de Walle, “Agent Preference Relations: Strict, Indifferent and Incomparable”, AAMAS’02, July 15-19, 2002, Bologna, Italy, 2002.

[Faratin 1997] – Peyman Faratin, Carles Sierra, Nick R. Jennings, “Negotiation Decision Functions for Autonomous Agents”, 22 October, 1997.

[Fonseca 2001] – José Manuel Fonseca, “Protocolos de Negociação com Coligações em Sistemas Multi-Agente” – *Tese de Doutorado*, 2001.

[Franklin 1996] – Stan Franklin, Art Graesse, “Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents”, *Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, Springer-Verlag, 1996.

[Hindriks 2008] – Koen Hindriks, Dmytro Tykhonov, “Opponent Modelling in Automated Multi-Issue Negotiation Using Bayesian Learning”, *Procedure. Of 7th International. Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2008)*, Padgham, Parkes, Müller and Parsons (eds.), May, 12-16, 2008, Estoril, Portugal, pp. 331-338, 2008.

[Johannessen 1997] – J-A Johannessen, J Olaisen and B Olsen, “Information Management in Negotiations: The Conditions Under Which it Could be Expected That the Negotiation Partners Substitute a Competitive Definition of the Situation for a Cooperative One”, *International Journal of Information Management*, Vol. 17, No. 3, pp. 153-168, 1997.

[Nguyen 2004] – Thuc Duong Nguyen, Nicholas R. Jennings, “Reasoning about commitments in multiple concurrent negotiations”, *ICEC'04, Sixth International Conference on Electronic Commerce*, 2004.

[Preist 2003] – Chris Preist, Claudio Bartolini, Andrew Byde, “Agent Based Service Composition Through Simultaneous Negotiation in Forward and Reverse Auctions”, *EC'03*, San Diego, California, USA June 9–12, 2003.

[Skylogiannis 2004] – Thomas Skylogiannis, Grigoris Antoniou, and Nick Bassiliades, “A System for Automated Agent Negotiation with Defeasible Logic-Based Strategies – Preliminary Report”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.

[Soo 2002] – Von-Wun Soo, Chun-An Hung, “On-Line Incremental Learning in Bilateral Multi-Issue Negotiation”, *AAMAS'02*, July 15-19, 2002, Bologna, Italy, 2002.

[Winoto 2004] – Pinata Winoto, Gordon McCalla, Julita Vassileva, “Non-Monotonic-Offers Bargaining Protocol”, *AAMAS'04*, July 19-23, 2004, New York, New York, USA, 2004.

[Wellman 1995] – Michael P, Wellman – “The Economic Approach to Artificial Intelligence“, *ACM Computing Surveys*, Vol 27, No 3, September 1995.

[Wooldridge 1995] – Michael Wooldridge, Nicholas R. Jennings – “Intelligent Agents: Theory and Practice”, 1995.

WWW - Web

[WWW – FIPA-ACL] – <http://www.fipa.org/repository/aclspecs.html> - Sítio WEB com vasto repositório informativo sobre as especificações de linguagens de comunicação entre agentes *ACL*. Última consulta em Julho de 2010.

[WWW - JADE] – <http://jade.tilab.com/> - Sítio WEB com informação sobre a plataforma de desenvolvimento de aplicações Agent-Oriented, JADE. Incluindo o White Paper sobre a tecnologia JADE. Última consulta em Julho de 2010.

[WWW - MultiAgente] – http://saber.sapo.pt/wiki/Sistema_multiagente - Wikipedia. Sítio WEB com informação sobre sistemas multiagentes. Última consulta em Julho de 2010.

[WWW – SYSTEM] – <http://www.en.wikipedia.org/wiki/System> – English Wikipedia. Sítio WEB com vasto repositório de informação relativa aos sistemas: conceitos, e outros tópicos. Última consulta em Junho de 2010.

[WWW – SYSTEMD] – http://www.en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_system - English Wikipedia. Sítio WEB com vasto repositório de informação relativa aos sistemas: conceitos, e outros tópicos. Última consulta em Junho de 2010.

[WWW – SYSTEMT] – http://www.en.wikipedia.org/wiki/Systems_theory - English Wikipedia. Sítio WEB com vasto repositório de informação relativa aos sistemas: conceitos, e outros tópicos. Última consulta em Junho de 2010.

Links úteis sobre tutoriais e informações sobre a tecnologia Java

[Java]: < <http://www.sun.com/java/> > - último acesso em Setembro de 2010.

[NetBeans]: <<http://netbeans.org/kb/index.html>> - último acesso em Setembro de 2010.

[Oracle]: <<http://download.oracle.com/javase/tutorial/>> - último acesso em Setembro 2010.

RESULTADOS DOS TESTES
E
IMAGEM (SCREENSHOT) DA JANELA PRINCIPAL DA APLICAÇÃO USADA PARA A
SIMULAÇÃO DO
PROCESSO NEGOCIAL

A.1 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CONJUNTO DE TESTES A

Teste A1

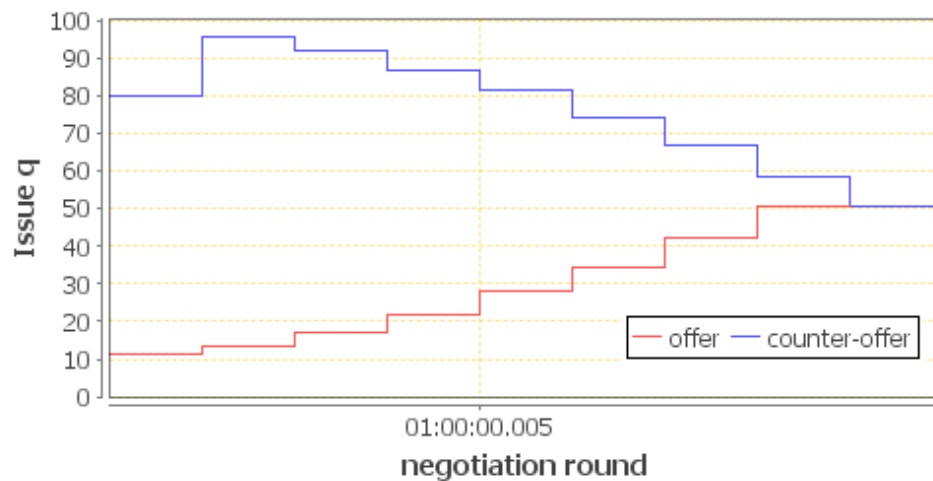
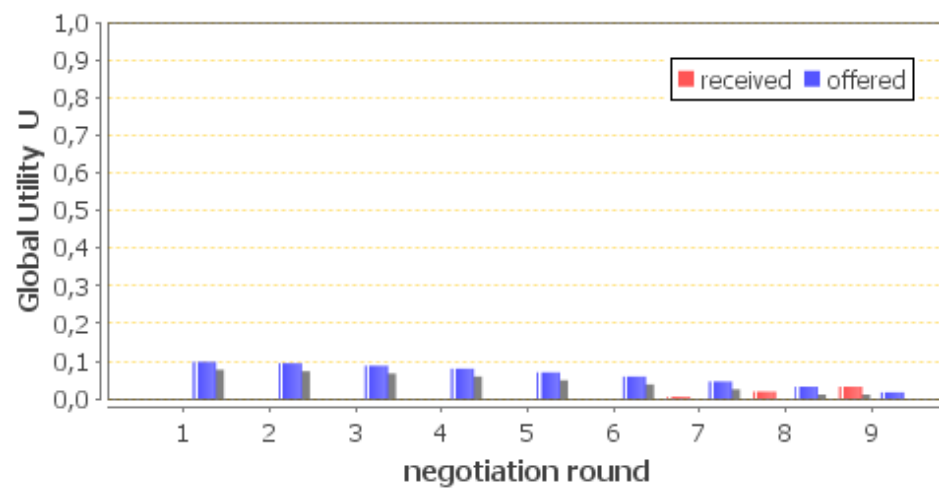
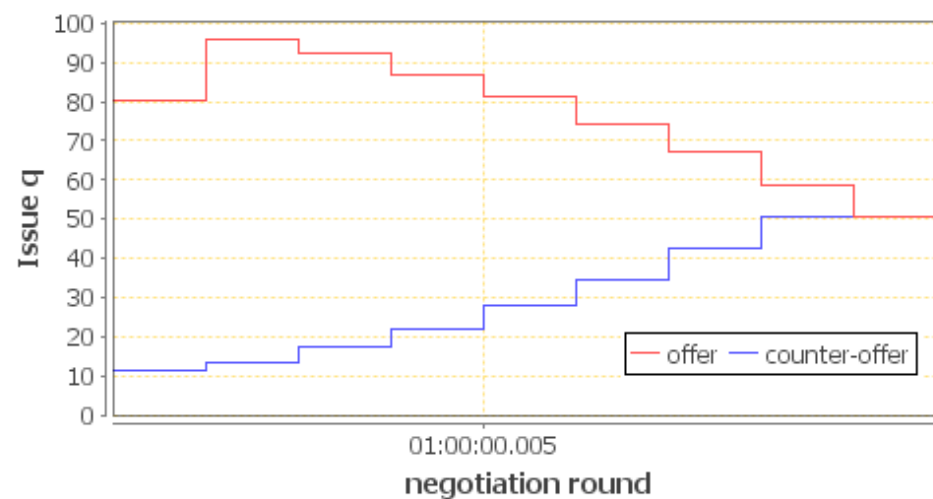
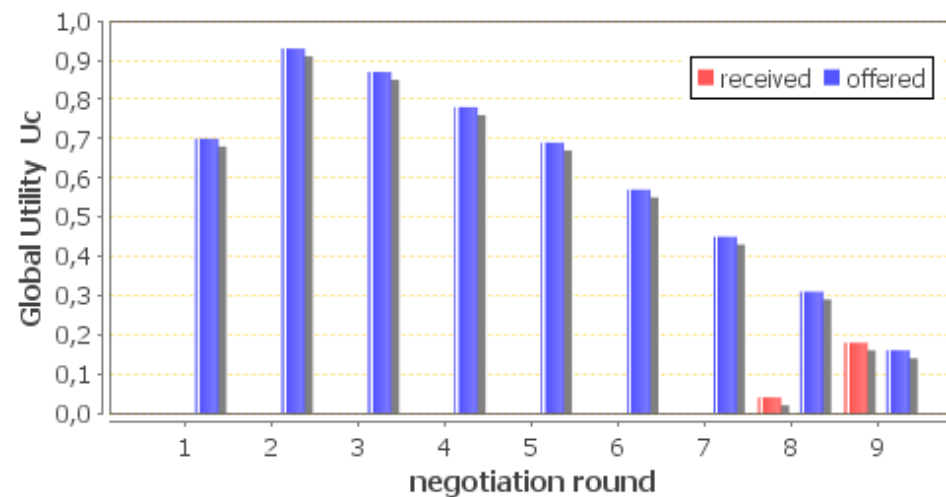


Figura A.1 - Resultados do processo negocial: Evolução da barganha e Utilidade global para cliente e servidor

Teste A2

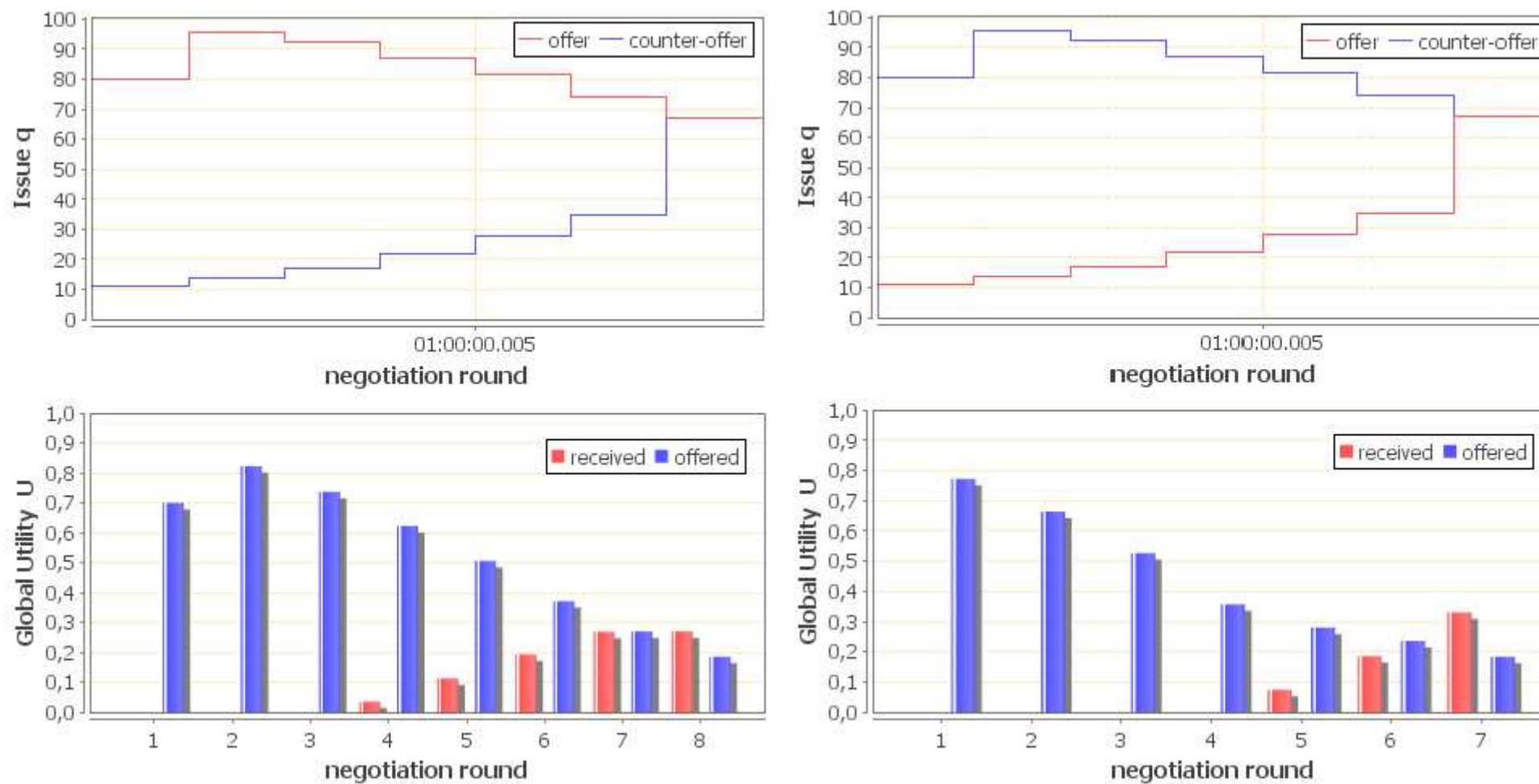


Figura A.2 - Resultados do processo negocial: Evolução da barganha e Utilidade global para cliente e servidor

Teste A3

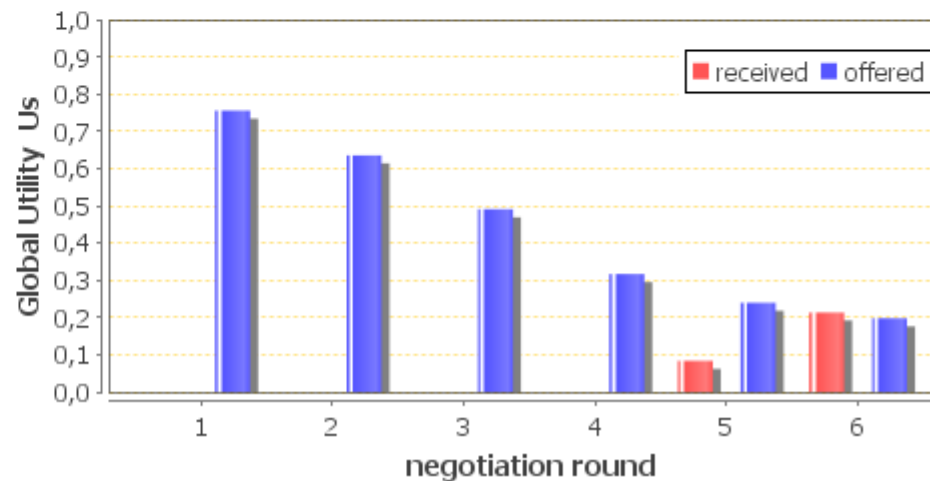
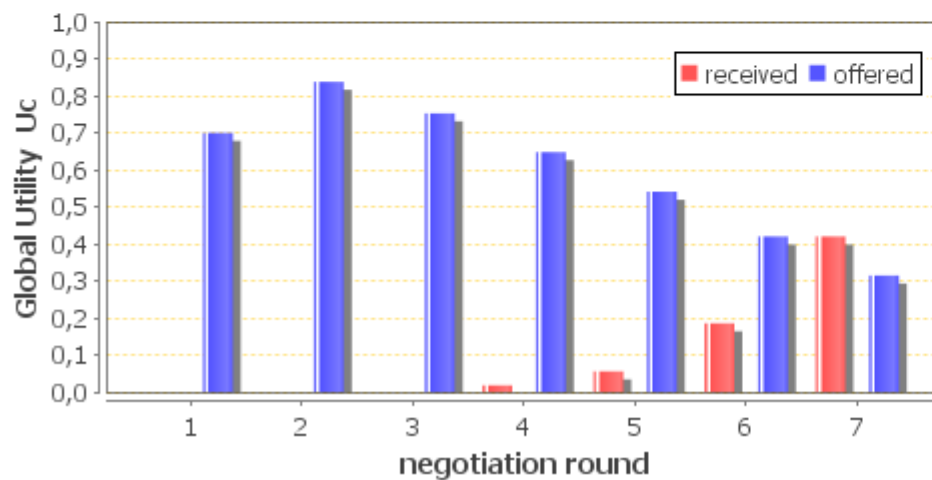
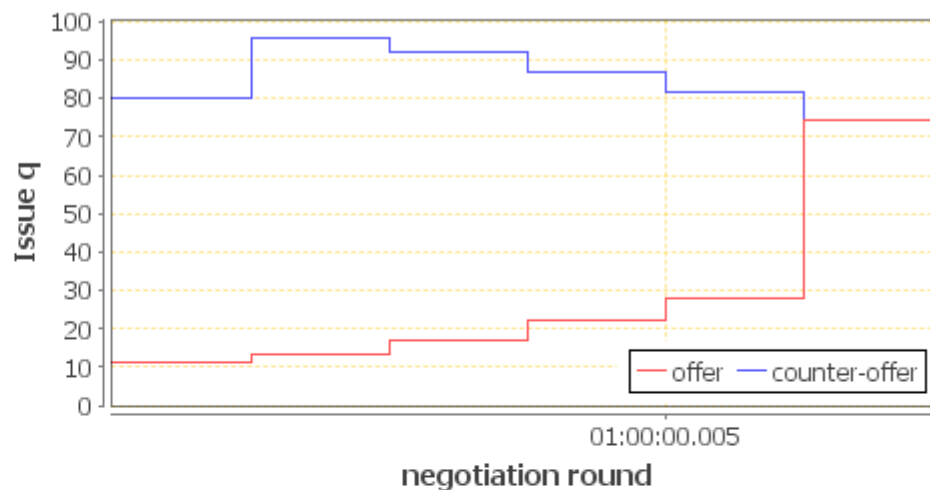
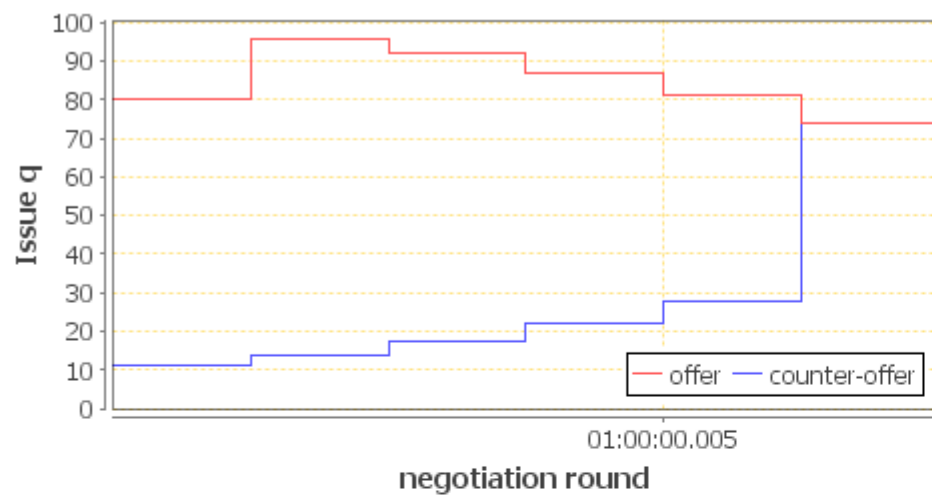


Figura A.3 - Resultados do processo negocial: Evolução da barganha e Utilidade global para cliente e servidor

A.2 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CONJUNTO DE TESTES B

Teste B.1

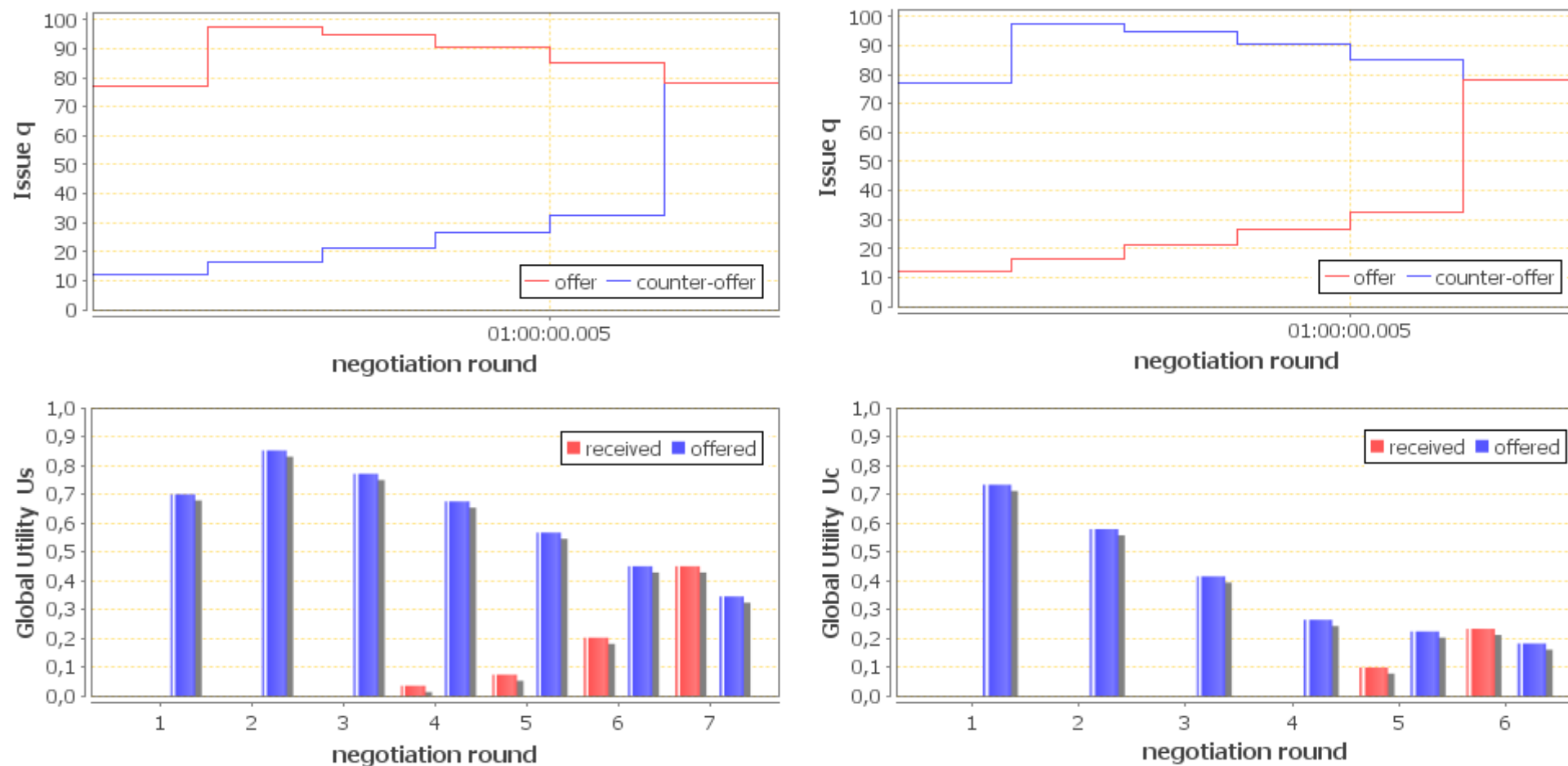


Figura A.4 - Resultados do processo negocial: Evolução da barganha e Utilidade global para cliente e servidor

Teste B.2

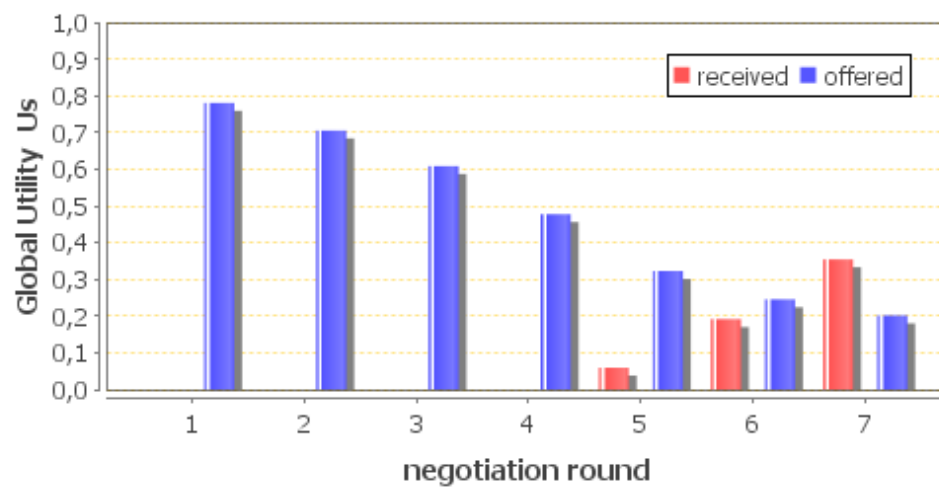
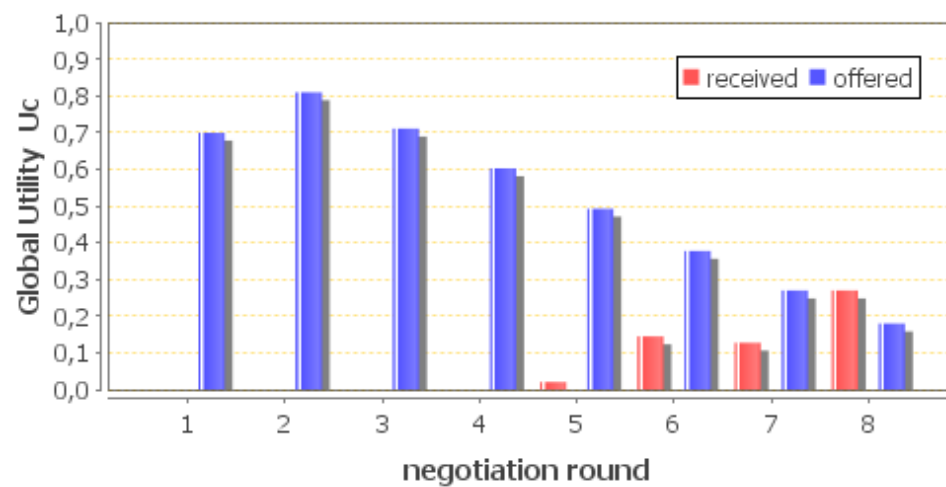
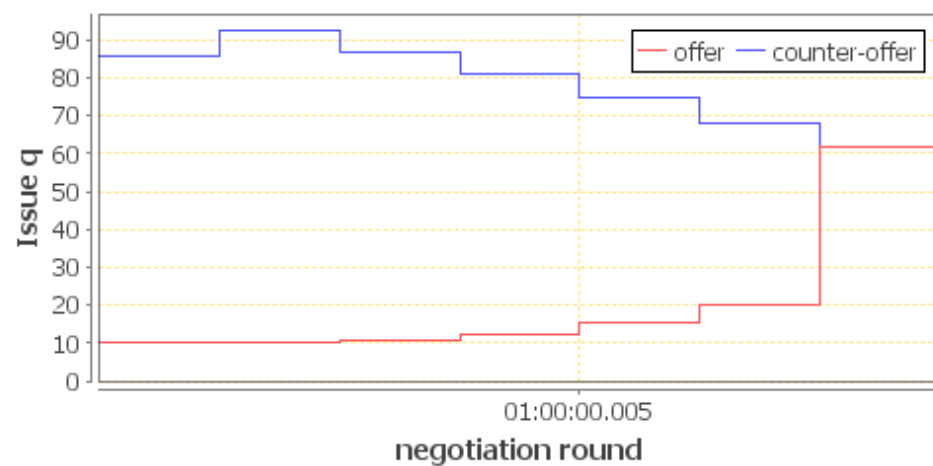
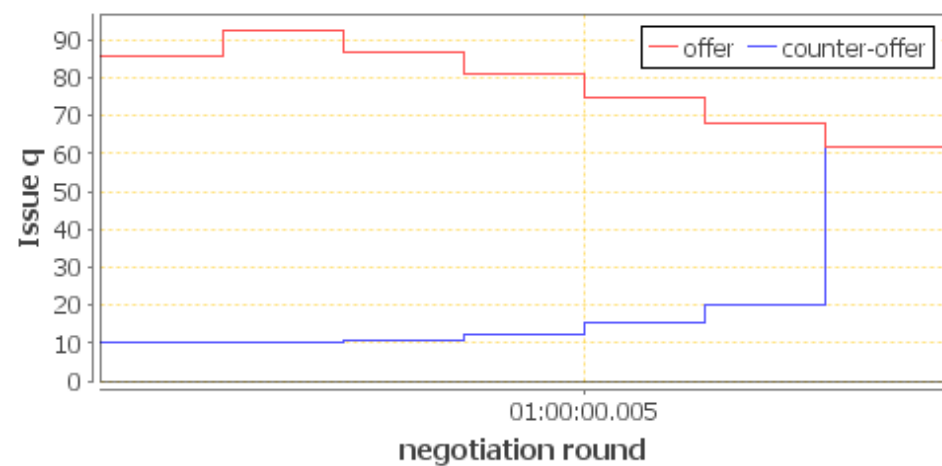


Figura A.5 - Resultados do processo negocial: Evolução da barganha e Utilidade global para cliente e servidor

Teste B.3

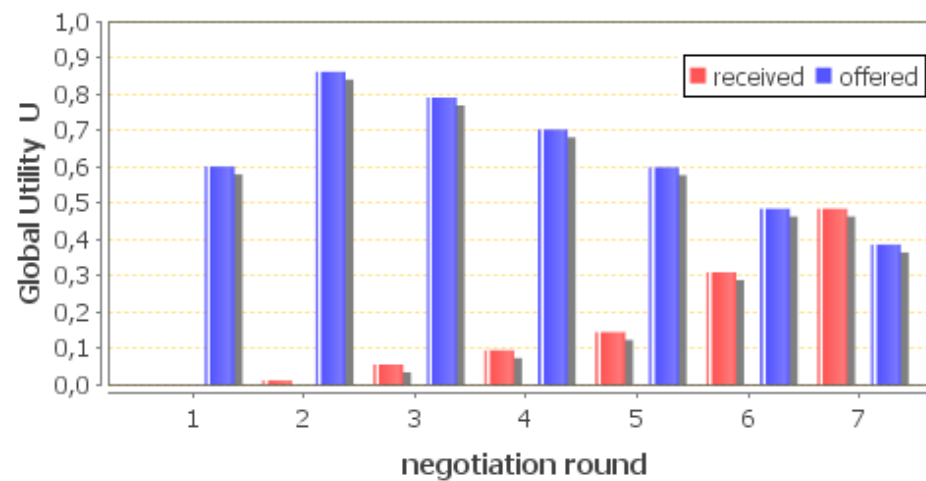
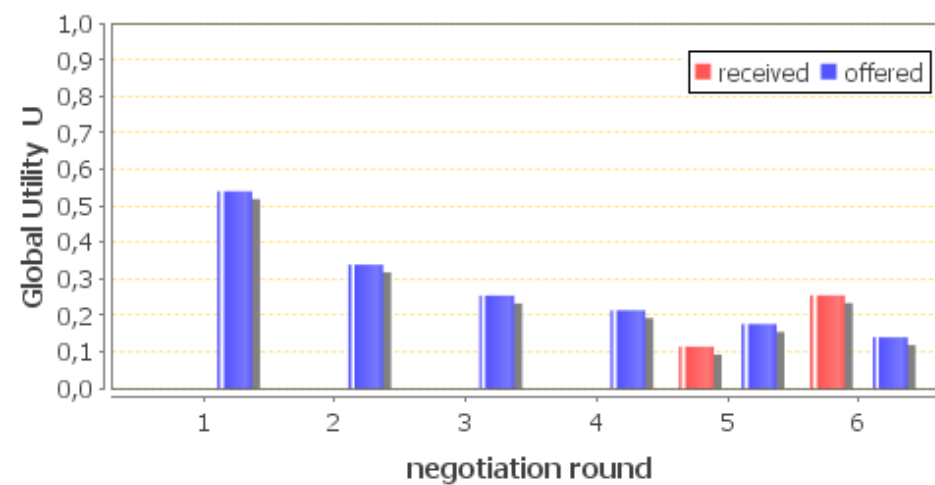
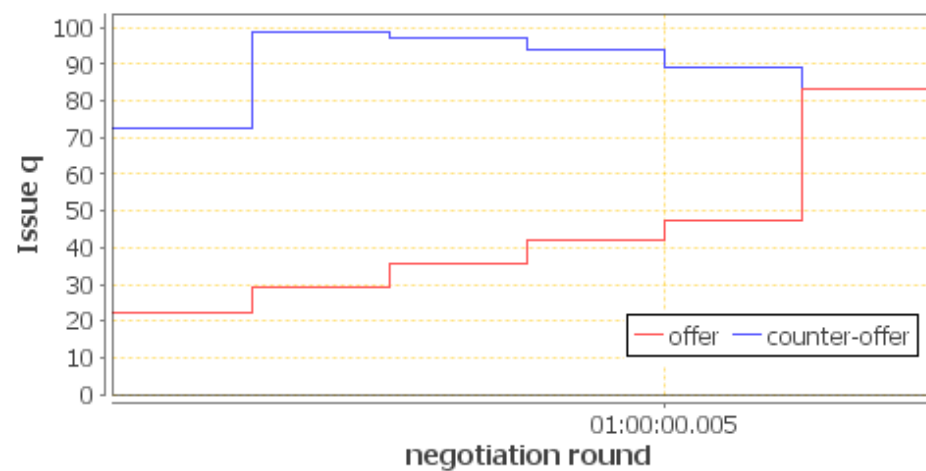
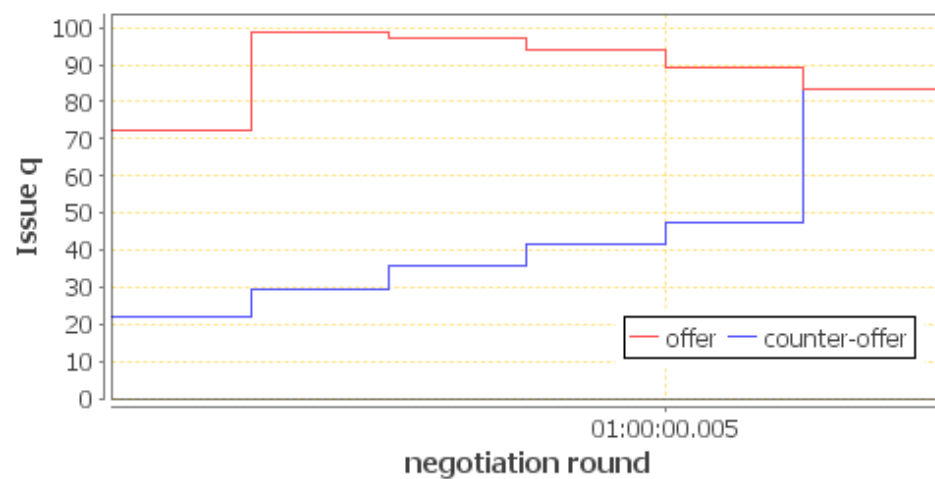


Figura A.6 - Resultados do processo negocial: Evolução da barganha e Utilidade global para cliente e servidor

A.3 – JANELAS PRINCIPAL DA APLICAÇÃO

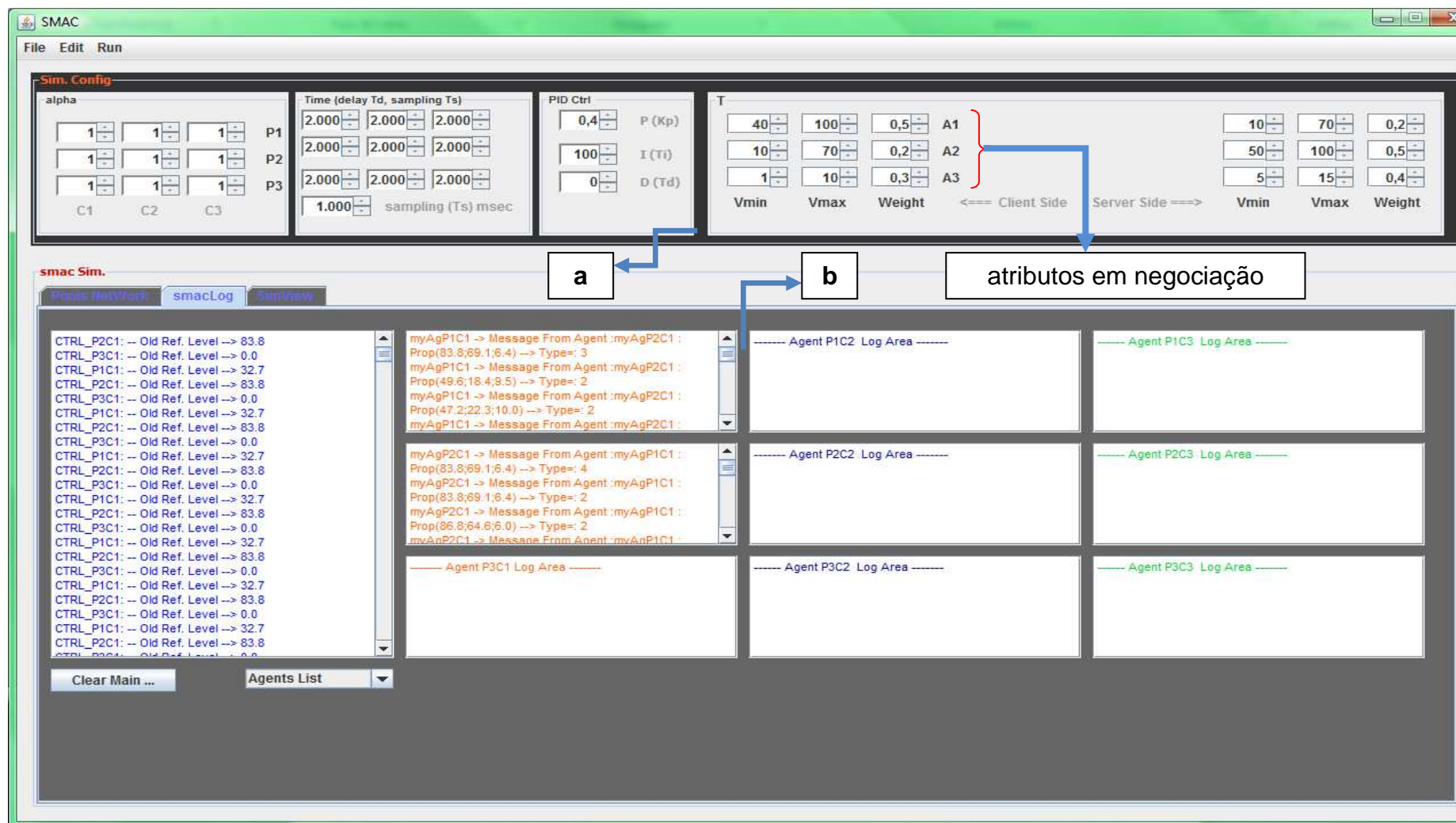


Figura A.9 – Janela de configuração da simulação e área de 'log' das comunicações entre agentes (a e b)

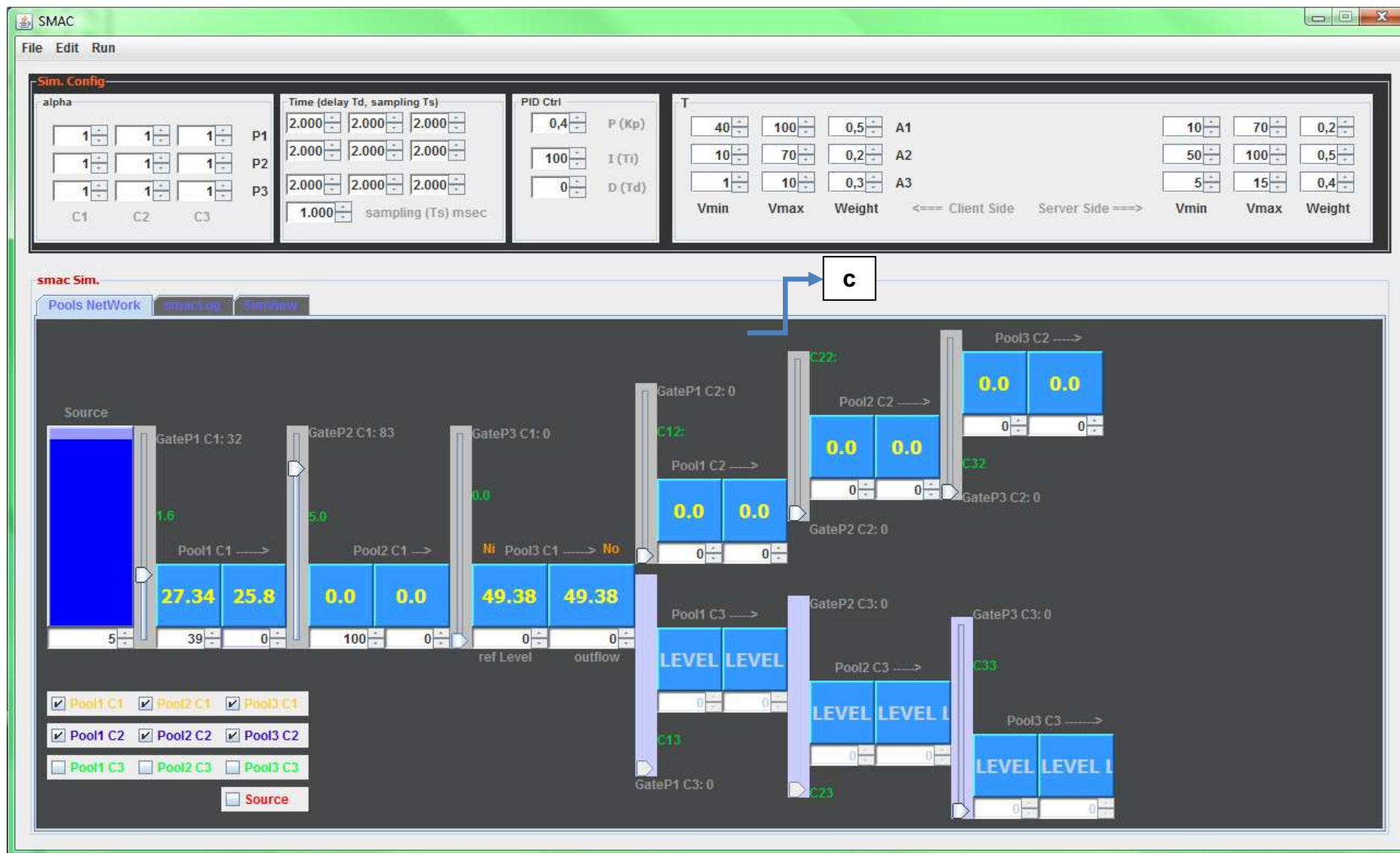


Figura A.10 – ideia de um sistema de canais e estruturas de controlo associadas (c)

CD - ROM